Eugen Statnic

TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU

TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

I. I. S. ELECTRONICA BUCUREȘTI
SERVICE

BULETIN TEHNIC Nr. 3

TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU
TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

PENTRU UZ INTERN

Autor: ing. EUGEN STATNIC

Tiparul executat sub comanda nr. 143 la Întreprinderea poligrafică „Crișana", Oradea str. Moscovei nr. 5

CUPRINS

I. *Tipuri şi familii de tranzistoare cu germaniu* 5

1. Tranzistoare aliate PNP de mică putere 5
2. Tranzistoare aliate NPN de mică putere 11
3. Tranzistoare aliate Ge PNP şi NPN de medie putere 14
   Perechi complementare PNP/NPN 17
4. Tranzistoare cu Ge PNP aliate, de putere 20
5. Tranzistoare drift pentru FI şi RF 26

II. *Tipuri şi familii de tranzistoare cu siliciu* 30

A. *Tranzistoare Si PNP şi NPN de AF şi comutaţie de mică putere* 31

B. *Tranzistoare Si NPN şi PNP de medie putere* 43

C. *Tranzistoare Si NPN pentru etaje finale video* 56

D. *Tranzistoare Si de înaltă frecvenţă* 61

1. Tranzistoare universale de RF şi FI-MA-MF 63
2. Tranzistoare pentru frecvenţă intermediară video-sunet TV . 70
3. Tranzistoare de FIF şi UIF 76

E. *Tranzistoare de putere AF şi baleiaj* 83

Într-un buletin tehnic anterior s-a tratat tehnologia tranzistoarelor, funcționarea și analiza parametrilor principali care caracterizează tranzistoarele. Tot în acel buletin s-au analizat condițiile limită de funcționare: tensiuni, curenți, temperatura joncțiunii și puterea disipată a tranzistoarelor. Un capitol special s-a rezervat tranzistoarelor de putere cu siliciu. Cunoștințele din acel buletin sînt necesare pentru însușirea materialului din prezentul buletin tehnic.

I. TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU

Vom analiza întîi tranzistoarele cu germaniu, care, așa cum am arătat în capitolul de cunoștințe, privind tehnologia, pot fi aliate sau drift. Avem cîteva familii de tranzistoare cu germaniu:

1. Tranzistoare aliate de joasă frecvență (AF) și mică putere (PNP și NPN).
2. Tranzistoare aliate de joasă frecvență și medie putere (PNP și NPN).
3. Tranzistoare aliate de putere, pentru audiofrecvență (EFT și AD).
4. Tranzistoare drift, pentru frecvență intermediară și radiofrecvență L, M, S (EFT 317-319).

1. TRANZISTOARE ALIATE PNP, DE MICĂ PUTERE

De peste 15 ani se produce cunoscuta familie de tranzistoare *EFT 351, 352, 353 și EFT 321, 322, 323*, ambele serii rezultînd din aceeași producție. Seria EFT 350 era destinată etajelor de semnal mic și pentru aceasta, sortarea se făcea la curenți mici de colector (1—5 mA) iar seria EFT 320 pentru etajele finale de mică putere, era sortată la curenți de 100—200 mA. De fapt erau aceleași tranzistoare: de pildă EFT 352 cu EFT 322, doar că la EFT 322 se putea conta mai mult pe conservarea amplificării β la curenți mari.

Este cunoscut că aceste excelente tranzistoare au fost după anul 1965 sortate și însemnate și după tensiune, tranzistoarele fiind notate cu litere (B sau C) care evidențiau clasa de tensiune, astfel, de exemplu:

EFT 322 ..... tensiunea $U_{CBO}=24$ V
EFT 322 B ..... „ $U_{CBO}=18$ V
EFT 322 C ..... „ $U_{CBO}=12$ V.

Ulterior, din anul 1970, s-a purces la o codificare nouă a tranzistoarelor pe baza unor criterii mai raţionale care ţin seama de fabricaţie, de dispersia inerentă a principalilor parametri: tensiunea şi amplificarea de curent la I_c=100 mA.

Aşa cum este uşor de înţeles, din fabricaţie rezultă tranzistoare cu o tensiune U_{CBO} cuprinsă între 10 V şi 60 V, cu o anumită distribuţie de procentaje, ca de pildă:

2% tranzistoare cu $U_{CBO} \leqslant 10$ V
13% tranzistoare cu $U_{CBO}=10 \div 18$ V
18% tranzistoare cu $U_{CBO}=18 \div 24$ V
20% tranzistoare cu $U_{CBO}=24 \div 32$ V
25% tranzistoare cu $U_{CBO}=32-48$ V
10% tranzistoare cu $U_{CBO}=48-60$ V
2% tranzistoare cu $U_{CBO}=60$ V.

Reprezentarea grafică a acestei distribuţii arată ca în fig. 1, în care trasîndu-se şi o linie medie înfăşurătoare, se obţine „clopotul lui Gauss", care nu este altceva decît o lege sau o funcţie de probabilitate (distribuţie gausiană).

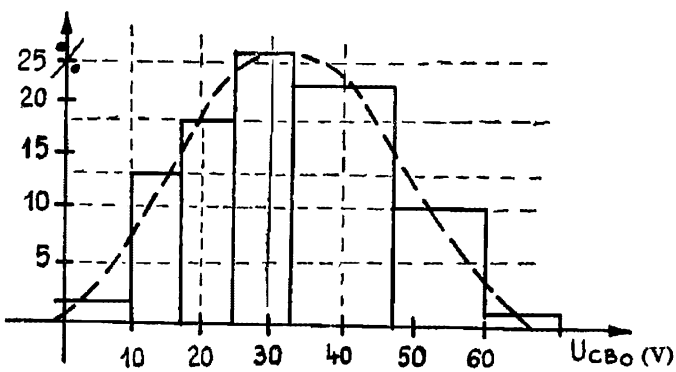


Fig. 1

La fel şi amplificarea de curent (β, h_{21e}) are o distribuţie gausiană între β=10 . . . 15 şi β=150 . . . 300. Dar şi frecvenţa de tăiere f_T, care pentru familia de tranzistoare aliate de AF, este tipic 1,5 MHz, variază de la tip la tip între 1 şi 2 MHz.

Știm din capitolul de tehnologie că dacă fronturile de aliere s-au apropiat mai mult, baza rezultă subțire, deci tensiunea de străpungere va fi mică, frecvența de tăiere mai mare, amplificarea β mai mare.

Codificarea tranzistoarelor după tensiunea U_{CBO}:

12 V → seria 300 adică EFT 301 — EFT 302 — EFT 303
18 V → seria 310 adică EFT 311 — EFT 312 — EFT 313
24 V → seria 320 adică EFT 321 — EFT 322 — EFT 323
32 V → seria 330 adică EFT 331 — EFT 332 — EFT 333
48 V → seria 340 adică EFT 341 — EFT 342 — EFT 343

respectiv:

$U_{CBO} \geq 12$ V (12 ... 18 V) pentru seria 301 — 302 — 303
$U_{CBO} \geq 18$ V (18 ... 24 V) „ „ 311 — 312 — 313
$U_{CBO} \geq 24$ V (24 ... 32 V) „ „ 321 — 322 — 323
$U_{CBO} \geq 32$ V (32 ... 48 V) „ „ 331 — 332 — 333
$U_{CBO} \geq 48$ V (peste 48 V) „ „ 341 — 342 — 343

Seria de tranzistoare EFT 351-353 a dispărut din noua codificare. După amplificare, în cadrul fiecărei serii avem terminația 1, 2 sau 3 cu următoarea semnificație:

1 → β = 17 ... 45 (roșu 20 — 30 și portocaliu 30 — 40)
2 → β = 35 ... 65 (galben 40 — 50 și verde 50 — 60)
3 → β = 55 ... 200 (albastru 60 — 75; violet 75 — 100; alb 100 — 150.

Astfel, toate tranzistoarele terminate cu 1 (EFT 311, 321, 331, 341) au amplificarea de curent cea mai mică, cuprinsă între 17 — 45, iar cele terminate cu 3 au amplificarea mare, cuprinsă între 60 și 200 la curentul I_C = 100 mA.

Știm deci acum că tensiunea este exprimată de cifra a doua, iar amplificarea de cifra a treia. Punctul de culoare, în măsura în care apare pe un tranzistor aliat de AF, precizează mai exact amplificarea cu următoarea codificare:

roșu	20 — 30 (15 — 35)
portocaliu	30 — 40 (25 — 45)
galben	40 — 50 (35 — 55)
verde	50 — 60 (45 — 65)
albastru	60 — 75 (55 — 80)
violet	75 — 100 (70 — 110)
alb	100 — 150 (85 — 180).

În paranteze sînt arătate abaterile față de categorie care se explică prin imprecizia măsurătorii atunci cînd s-a făcut sortarea, temperatura de măsurare și chiar deriva (modificarea sau evoluția parametrului în timp).

În afară de tensiune și amplificare de curent, mai trebuie luate în considerare următoarele limite privind puterea și curentul:

P_d —puterea disipată la t ambianță de 25°C=250 mW

I_{CM} —curentul maxim de colector (de vîrf)=250 mA.

● *Privind puterea pe care o pot disipa tranzistoarele din această familie, trebuie precizate rezistențele termice:* R_{thj-c} (joncțiune-capsulă) și R_{thj-a} (joncțiune-aer ambiant) precum și temperatura admisă a joncțiunii:

$$R_{thj-c} = 80°C/W = 0{,}08°C/mW$$
$$R_{thj-a} = 300°C/W = 0{,}3°C/mW.$$
$$T_{jmax} = 85°C$$

Se reamintește corelația dintre temperatura joncțiunii, puterea disipată și temperatura ambiantă:

$$T_j = T_a + P_d \cdot R_{thj-a}.$$

Astfel la t_a=25°C, cînd P_d=200 mW; 100 mW; 25 mW, tranzistorul fiind plasat în aer liniștit, se calculează temperatura joncțiunii:

Cu 200 mW $T_j = 25 + 0{,}2 \cdot 300 = 25 + 60 = 85°C.$

Cu 100 mW $T_j = 25 + 0{,}1 \cdot 300 = 25 + 30 = 55°C.$

Cu 25 mW $T_j = 25 + 25 \cdot 0{,}33 = 33°C.$

Vom putea calcula ușor cît este puterea disipată admisă dacă tranzistorul (fără radiator) se află la temperatura ambiantă de 55°C (de exemplu într-un televizor):

$$P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{thj-a}} = \frac{85-55}{300} = \frac{30}{300} = 0{,}1 \text{ W}.$$

Folosind o aripioară de răcire cu suprafața de 4 cm², avînd un colier de contact cu capsula, rezistența termică scade de la 300°C/W (0,3°C/mW) cca 180°C/W, adică 0,18°C/mW. (rezistența termică a radiatorului este de cca 100°C/W, astfel că împreună cu R_{thj-c}=80°C/W, fac împreună 180°C/W).

Cu această aripioară se poate încărca tranzistorul la T_a=55°C, cu:

$$P_d = \frac{85-55}{180} = \frac{30}{180} = 166 \text{ mW}.$$

Să reținem însă că la P_d= 166 mW, joncțiunea va fi foarte caldă: 85°C!

● Depășirea curentului de 250 mA nu distruge tranzistorul, cu condiția ca puterea disipată să nu depășească P_d de 150 mW, cu alte cuvinte, scurt timp tranzistorul poate suporta chiar 400 mA dacă U_{CE} nu depășește 0,3—0,4 V.

● Amplificarea de curent scade pe măsură ce crește curentul, fiind cu 30—35% mai mică la I_C=250 mA, decît la I_C=10—20 mA,

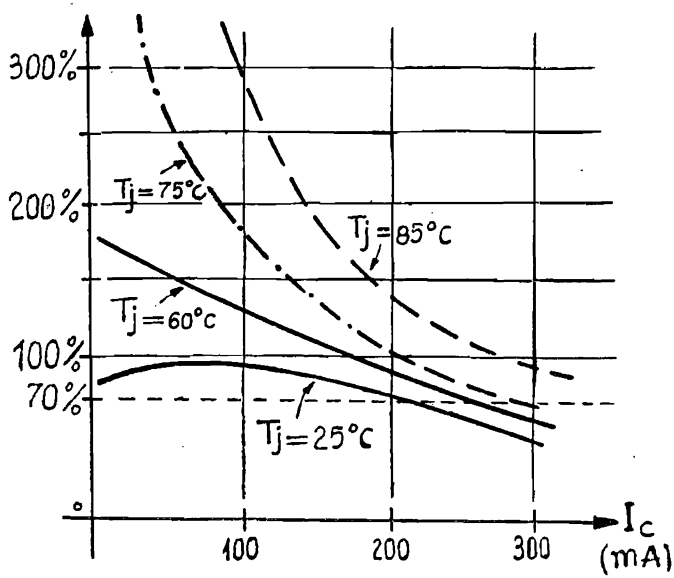


Fig. 2

dar este foarte mare atunci cînd temperatura joncțiunii crește peste 60°C. În fig. 2 se arată variația procentuală a I_C cu curentul și temperatura.

Periculoasă este zona de temperaturi a joncțiunii peste 60°C, cînd datorită proceselor din tranzistor, amplificarea de curent

(β, h_{21}) crește de 2—3 ori și conduce la ambalarea termică a tranzistorului și la rapida lui distrugere.

● *Concluzie: puterea disipată a tranzistorului din familia EFT 311... 353, nu are voie să depășească niciodată 100 mW!*

Bineînțeles că această condiție se pune atunci cînd se urmărește o funcționare absolut sigură a circuitelor.

În practică, tranzistoarele din familia aceasta sînt folosite ca preamplificatoare de AF, etaje defazoare și etaje finale în clasa B.

În etajele preamplificatoare puterea disipată nu depășește, de obicei, 5—10 mW, aceste etaje lucrînd la o tensiune de 5—10 V și un curent de lucru de 0,5—2 mA.

În funcție de defazor (driver), încărcarea poate fi de 50—80 mW, ca de exemplu la RR Select unde T8 are I_C=12 mA și U_{CE}=5 V (P_d=60 mW).

Tranzistorul T8 EFT 322 este destul de solicitat atunci cînd aparatul este plasat la o temperatură ambiantă de 35°C. În interiorul aparatului, în zona lui T8, temperatura este de cca 48°C, iar temperatura joncțiunii atinge 66°C, ceea ce se calculează cu relația amintită:

$$T_j = T_a + P_d \cdot R_{thj-a} = 48 + 60 \cdot 0{,}3 = 66°C.$$

În etajele finale, problema încărcării termice este mai delicată.

Este cunoscut că randamentul teoretic al unui etaj final în cl. B este de 78 %. Dar în realitate etajele finale nu lucrează „curat" în cl. B ci în cl. AB, deoarece au un curent de polarizare de 3... 10 mA, în scopul evitării distorsiunilor de trecere (de tip β).

Din această cauză randamentul unui etaj final uzual este de 65—67%:

$$\eta_{clB} = 65 - 67\%$$

Înseamnă că un etaj final de AF care dă în difuzor o putere de 0,65 W, consumă de la sursa de alimentare 1 W. Puterea diferență:

$$P_{alim} - P_{ies} = P_d = 1 \text{ W} - 0{,}65 \text{ W} = 0{,}35 \text{ W}.$$

de 0,35 W va fi disipată pe cele 2 tranzistoare finale, în mod egal cîte 175 mW, ceea ce, încă nu depășește admisibilul pentru tranzistoarele acestei familii (180 mW la temperatura ambiantă de 45°C).

Să nu se uite că numai curentul de polarizare de 5—10 mA încarcă cu 25—50 mW un tranzistor din etajele finale.

Puterea de ieşire a etajelor finale în cl. B cu tranzistoare din familia de AF, nu poate deci depăşi 0,6—0,7 W, (cazul aparatelor Mamaia, Albatros). Pentru siguranţă, în aceste aparate, tranzistoarele sînt montate pe mici radiatoare, care dau posibilitate ca tranzistorul să poată disipa 200—220 mW la t_a=55°C.

2. TRANZISTOARE ALIATE NPN, DE MICĂ PUTERE

Este mai dificilă fabricarea unui tranzistor NPN cu Ge decît a unui PNP cu Ge. Dar eliminarea transformatoarelor de ieşire şi de defazare, din receptoarele mici, nu este posibilă fără crearea unei perechi complementare aşa cum este perechea:

EFT 323+EFT 373
PNP NPN

O pereche de tranzistoare complementare se poate forma din 2 tranzistoare cu caracteristici electrice cît mai apropiate, mai ales în ceea ce priveşte:

1) caracteristica $I_C=f(U_{BE})$

2) caracteristica $h_{21E}=f(I_C)$.

Identitatea caracteristicilor de excitaţie $I_C=f(U_{BE})$ este necesară pentru a asigura curenţi egali de colector la cele două tranzistoare, atunci cînd pe baza acestora se aplică tensiunea de audiofrecvenţă de la etajul defazor.

Caracteristica $h_{21E}=f(I_C)$ este importantă la orice etaj final, tot pentru a asigura curenţi egali de colector, mai ales la excursii mari de curent.

● Tipică pentru tranzistoarele NPN este scăderea pronunţată a amplificării de curent la curenţi mari de colector, aşa cum se arată în fig. 3.

Situaţia este caracteristică şi pentru perechile complementare AC 180/181, AC 184/185, EFT 367/377, AC 187/188 şi în general pentru toate tranzistoarele complementare aliate cu germaniu.

Amplificarea poate diferi cu cel mult 15—25% la cele 2 tranzistoare; la acest ordin de mărime, reacţia negativă corectează dife-

renţa de h_{21}, astfel că distorsiunile semnalului de la ieşire se situează sub 10%.

Se adoptă uneori o astfel de împerechere încît la curenţii mici şi mijlocii, amplificarea tranzistorului NPN să fie cu 20—25% mai

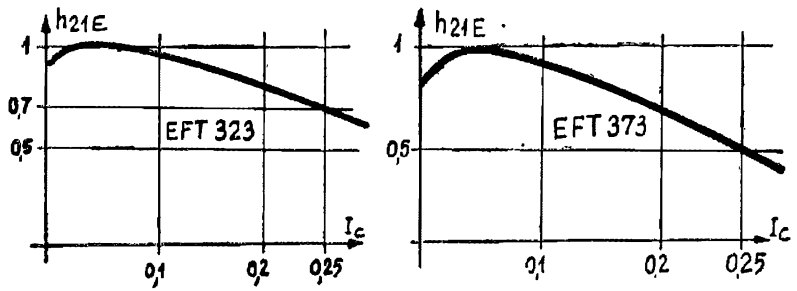


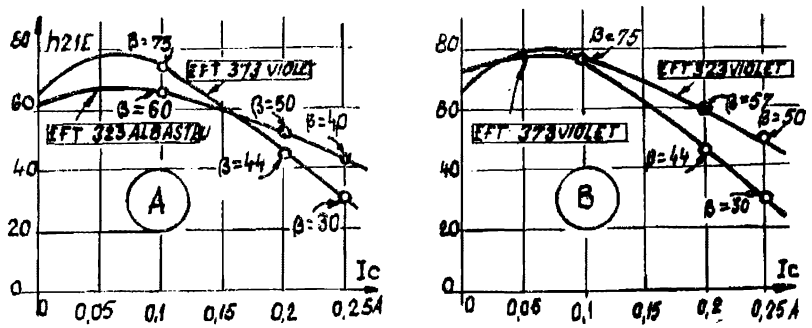
Fig. 3

mare, adică cu o culoare mai sus decît amplificarea tranzistorului PNP; datorită scăderii mai mari a lui h_{21E} la curenţi mari, amplificarea tipului NPN nu va fi decît cu 15—20% mai mică decît cea a tranzistorului PNP. Această se vede bine în fig. 4 în care se arată caracteristicile reale $h_{21E}=f(I_C)$ la o pereche EFT 323 albastru—EFT 373 violet faţă de o pereche EFT 323 violet—EFT 373 violet.

Se vede din fig. 4 a că „desperecherea" voită cu o culoare, conduce la caracteristici mai apropiate în zona curenţilor mari de colector (0,25 A) în timp ce împerecherea la culoare asigură o identitate mai bună pînă la cca 65% din $I_{C\,max}$ (0,15 A). Se arată mai jos şi caracteristica distorsiunilor la acelaşi amplificator echipat cu perechea A şi cu perechea B, la care excursia maximă de curent $I_{CM}=0{,}2$ A.

Se observă că la perechea A, diferenţa amplificărilor este mai mare la curenţi de 50—100 mA şi ca urmare distorsiunile la puteri mici sînt de 2 . . . 3%, obţinîndu-se 10% distorsiuni la puterea de 0,35 W. Cu perechea B, la care diferenţa amplificărilor la curenţi mici este relativ mică, se obţin distorsiuni de 0,5—1% la puteri pînă la 0,2 W, dar puterea cu 10% distorsiuni este de 0,3 W deoarece la peste 0,2 A, vezi fig. 4 b, diferenţele de β sînt importante, mergînd pînă la 50%.

Cum la tranzistoarele NPN de tipul EFT 373, amplificarea este cuprinsă între 50 și 150, împerecherea se face cu tranzistoare EFT 322 și EFT 323. Întrucît la RR alimentate cu tensiune mică este posibilă utilizarea și a tranzistoarelor de 18 și 12 V, este uzuală



a b

Fig. 4

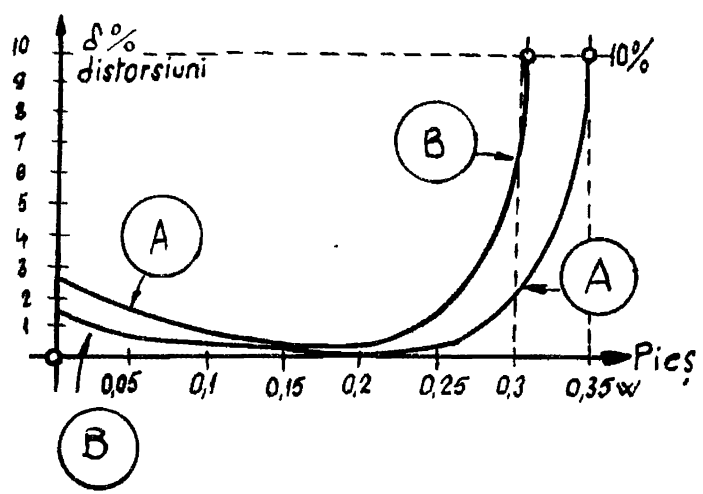


Fig. 5

și împerecherea lui EFT 373 cu tranzistoare EFT 312/313 și chiar EFT 302/303, importantă fiind clasa de amplificare de curent și nu tensiunea U_{CBO} sau U_{CEO}.

Exact aceleași probleme de împerechere se pun la perechea complementară AC 180 K + AC 181 K, unde este posibilă împerecherea tranzistorului PNP AC 180 K cu un tranzistor NPN AC 181 K de o clasă superioară ca amplificare, de exemplu AC 180 K VI cu AC 181 K VII sau AC 180 K IV cu AC 181 K V.

3. TRANZISTOARE ALIATE Ge PNP ȘI NPN DE MEDIE PUTERE

În această categorie intră 2 familii moderne de tranzistoare aliate:

PNP: *AC 180 K*, AC 180, AC 182, AC 184, EFT 367

NPN: *AC 181 K*, AC 181, AC 183, AC 185, EFT 377.

Capi de serie în aceste familii sînt tranzistoarele: PNP-AC 180K, și NPN-AC 181 K.

Tipic pentru aceste tranzistoare este curentul de colector maxim admis de 1,5—2 A, datorită unei foarte bune cedări a căldurii de la joncțiune la capsulă, asigurată prin „construcția" interioară a sistemului. Tranzistoarele AC 180 K și AC 181 K au o rezistență termică joncțiune-capsulă R_{thjc} de cel mult 30°C/W. Cu alte cuvinte *atunci cînd tranzistorul AC 180 K este încărcat cu 1 W, joncțiunea este mai caldă decît suprafața exterioară a capsulei cu cel mult 30°C, dar numai în situația cînd prisma metalică K a capsulei este montată pe un radiator metalic.*

Dacă însă tranzistorul AC 180 K sau AC 181 K se află liber, nefixat de vre-un radiator, rezistența termică între joncțiune și ambianță $R_{thj-a} \leqslant 170$°C/W, face ca tranzistorul să nu poată disipa mai mult de 300—320 mW.

O altă caracteristică a tranzistoarelor de medie putere este *conservarea* amplificării de curent pînă la 1,5 A la tipul PNP AC 180 K și pînă la cca 1 A la tipul NPN AC 181 K, așa cum se arată în fig. 6.

Dar deoarece caracteristica amplificării de curent este diferită la cele două tranzistoare, fiind mai căzătoare la tipul NPN, împerecherea pentru etajele finale complementare se face în 2 puncte: la 50 mA și 600 mA. Chiar sortarea tranzistoarelor după

clasele de amplificare β (sau h_{21E}) se face la curentul de 600 mA, astfel,

clasa	IV	V	VI	VII	VIII
h_{21E}	20—65	50—100	75—150	125—250	200—400.

Se vede în fig. 6 că dacă un tranzistor AC 181 K are la I_C = = 600 mA h_{21E} = 65 (deci face parte din clasa V) acesta are la I_C =

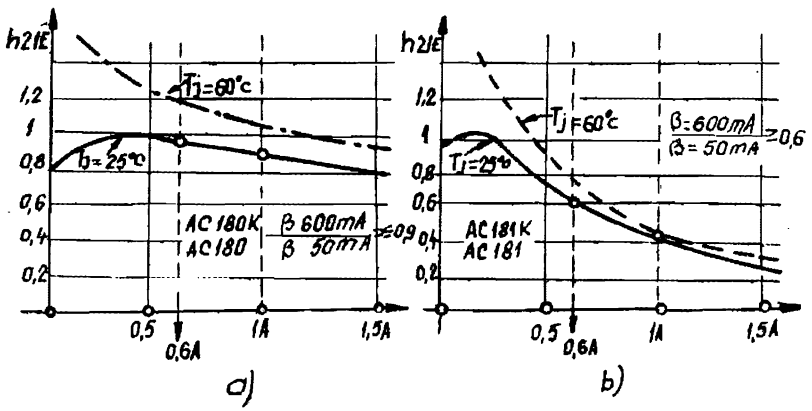


Fig. 6

= 50 mA un h_{21E} — de cca 100. La un PNP-AC 180 K, cînd $h_{21E\ 600\ mA}$ = = 65, se înţelege că $h_{21E\ 50\ mA}$ va fi de cca 70, deoarece β nu scade aşa de mult. Imperecherea are loc în principal la 600 mA, unde h_{21E} nu are voie să difere cu mai mult de 25% (de la PNP la NPN).

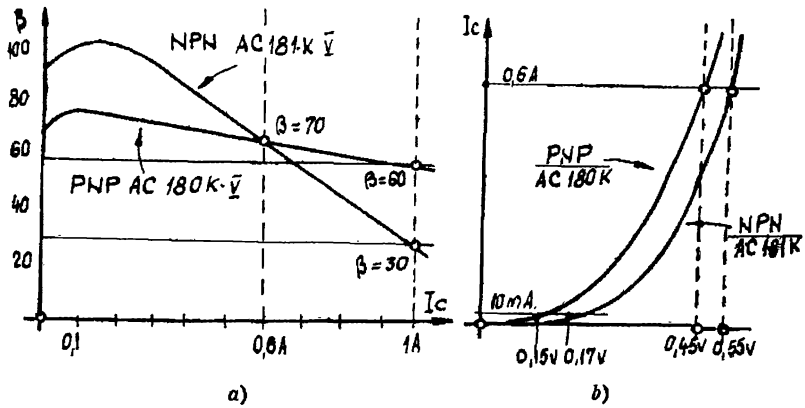
Cu această împerechere se obţine un paralelism acceptabil între cele 2 tranzistoare şi ca urmare un nivel mic de distorsiuni.

● Problema care mai apare este că tranzistoarele NPN au o caracteristică de transfer mai „leneşă" în sensul că este necesară o tensiune de „deschidere" U_{BE} mai mare decît la tipurile PNP.

Astfel pentru ca prin „traseul" colector-emitor să curgă 600 mA, este necesară la AC 180 K o tensiune de cca 0,45 V, în timp ce (vezi fig. 7 b) tipul NPN AC 181 K „cere" 0,55 V. Altfel spus, o tensiune U_{BE} de 0,4 V forţează prin AC 180 K un curent de bază de cca 5 mA, în timp ce la AC 181 K curentul bazei va fi de 3 mA.

Cum însă amplificarea lui AC 181 K este cu cca 30% mai mare decît la AC 180 K, în domeniul 100—500 mA, se ajunge la curenți pe colector relativ apropiați în zona unde cele 2 tranzistoare par neîmperecheate, dacă privim caracteristicile din fig. 7 a.

Necazul apare la curenți mai mari de 600 mA, unde pe de o parte scade h_{21E} (β) și reduce curentul I_C, iar pe de altă parte curen-



a) b)

Fig. 7

tul I_C tinde să fie mai mic datorită tensiunii U_{BE}, insuficientă pentru excitarea tranzistorului NPN. De aceea etajele cu tranzistoare complementare se dimensionează astfel ca I_{CM} (curentul de vîrf de colector) să nu depășească cu mult valoarea curentului de împerechere, deci nu mult peste 0,6 A).

O compensare mai corectă a dezavantajelor tranzistorului NPN, se obține luînd tranzistorul NPN la o clasă de amplificare mai mare decît tipul PNP, lucru menționat încă odată atunci cînd s-a analizat perechea EFT 323/373.

*

Din fabricația curentă tranzistoarele se sortează într-o anumită ordine care permite departajarea și a unor tranzistoare foarte bune, pentru etaje finale de putere mai mică sau pentru etaje prefinale sau preamplificatoare.

Astfel, din tehnologia de medie putere PNP se obțin tipurile:

AC 180 K —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 1,5 A (cu radiator K prismă)

AC 180 —identic cu AC 180 K, dar fără radiatorul prismă.

EFT 367 —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 1 A, fără prismă K.

AC 184 —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 0,5 A, fără prismă.

AC 182 —tranzistor cu h_{21E} mare pînă la 0,2—0,3 A (prefinal de calitate).

Din tehnologia de medie putere NPN se obțin tipurile:

AC 181 K —tranzistor cu $h_{21E}=f(I_C)$ acceptabilă pînă la 1 A, cu prismă K.

AC 181 —tranzistor identic, dar fără radiatorul K.

EFT 377 —tranzistor cu conservare acceptabilă pînă la 0,5 A, fără prismă.

AC 185 —Conservarea h_{21E} pînă la cca 0,3 A, fără radiator prismă.

AC 183 —Tranzistor cu h_{21E} mare pînă la 0,1—0,2 A (prefinal de calitate).

Perechi complementare PNP/NPN

Acestea se pot forma din tranzistoare cu conservare asemănătoare a amplificării. Deoarece însă h_{21E} la tipurile NPN scade mult cu creșterea I_C, etajele finale se proiectează astfel încît I_{CM}* (valoarea de vîrf a curentului I_C din etajul final) să nu depășească o anumită valoare rezonabilă.

AC 180 K + AC 181 K	$I_{CM}=0{,}8\div1$ A	$P_{tot\ max}\cong3$ W
EFT 367 + EFT 377	$I_{CM}=0{,}4\div0{,}5$ A	$P_{tot\ max}\cong1{,}15$ W
AC 184 + AC 185	$I_{CM}=0{,}25\div0{,}3$ A	$P_{tot\ max}\cong0{,}7$ W
EFT 323 + EFT 373	$I_{CM}=0{,}25$ A	$P_{tot\ max}\cong0{,}5$ W.

* Pe tranzistoarele destinate perechilor complementare se află, în afară de codul și clasa de amplificare, un număr compus din 2 cifre, care semnifică clasa de împerechere: astfel sînt pereche toate tranzistoarele care au aceiași cifră de împerechere (PNP sau NPN).

Tranzistoarele PNP și NPN aliate din familia AF de mică și medie putere sînt prezentate, pentru o mai ușoară depistare și comparare într-un tabel comun:

TRANZISTOARE GE, ALIATE, PNP

Tranzistor	POL.	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	$I_{C\ max}$ (mA)	P_d mW (TA= =25°C)	P_d mW (TA= =45°C)	R_{thjc} (°C/W)	F_T (MHz)	h_{21E} static la 100 mA	marcare
EFT 311	PNP	18	10	250	250	180	80	1,3	17— 45	roşu, portocaliu
EFT 312	PNP	18	10	250	250	180	80	1,6	35— 65	galben, verde
EFT 313	PNP	18	10	250	250	180	80	2	55—200	albastru, violet alb
EFT 321	PNP	24	16	205	250	180	80	1,3	17— 45	roşu, portocaliu
EFT 322	PNP	24	16	250	250	180	80	1,6	35— 65	galben, verde
EFT 323	PNP	24	16	250	250	180	80	2	55—200	albastru, violet alb
EFT 331	PNP	32	20	250	250	180	80	1,3	17— 45	roşu, portocaliu
EFT 332	PNP	32	20	250	250	180	80	1,6	35— 65	galben, verde
EFT 333	PNP	32	20	250	250	180	80	2	55—200	albastru, violet, alb
EFT 341	PNP	48	24	250	250	180	80	1,3	17— 45	roşu, portocaliu
EFT 342	PNP	48	24	250	250	180	80	1,6	35— 65	galben, verde
EFT 343	PNP	48	24	250	250	180	80	2	55—200	albastru, violet, alb

EFT 367	PNP	32	16	1 A	250	180	60	1,5	A= 45— 75 B= 65—100 C= 90—170	
EFT 124	PNP	24	16	0,5 A	500	230	60	0,5	20— 45	Ieşite din uzul curent
EFT 125	PNP	24	16	0,5 A	500	230	60	0,5	40—100	
AC 180	PNP	32	16	1,5 A	300	225	30	2,5(>1)	IV 25— 50 V 50—100 VI 75—150 VII 125—250 VIII 200—400	
AC 184	PNP	32	16	0,5 A	270	200	60	2,5(>1)		
AC 180 K	PNP	32	16	1,5 A	440	320	30	2,5(>1)		
TRANZISTOARE GE, ALIATE, NPN										
EFT 373	NPN	24	12	250	250	140	80	1,5	55—155	albastru, violet, alb
EFT 377	NPN	32	16	0,6 A	250	180	60	1,5	A= 50—100 B= 75—110 C=125—250	
AC 181	NPN	32	16	1 A	300	225	30	4,5(>2)	V 50—100 VI 75—150 VII 125—250 VIII 200—400	
AC 183	NPN	32	16	150	250	180	60	4,5(>2)		
AC 185	NPN	32	16	0,5 A	270	200	60	4,5(>2)		
AC 181 K	NPN	32	16	1 A	440	320	30	4,5(>2)		

ETAJE FINALE CL.B	I_{CM}	U_{ALIM} (max)	R_s (dif)	$P_{ief\ max}$	P_{ief} 10%	P_{ief} 1%
EFT 323+EFT 373	0,25 A	6 V	8 Ω	0,45 W	0,35 W	0,25 W
EFT 367+EFT 377	0,5 A	9 V	8 Ω	1,15 W	0,9 W	0,75 W
AC 184+AC 185	0,25 A	6 V	8 Ω	0,5 W	0,4 W	0,3 W
		12 V	24 Ω	0,7 W	0,6 W	0,5 W
AC 180 K+AC 181 K	1 A	9 V	4 Ω	2,1 W	1,75 W	1,6 W
		12 V	5 Ω	3 W	2,5 W	2 W
AC 180 K+AC 180 K	1,5 A	15 V	5 Ω	4,5 W	3,9 W	3 W

4. TRANZISTOARE CU Ge, PNP, ALIATE, DE PUTERE

Programul IPRS oferă o serie de tranzistoare de putere, destinate etajelor de audiofrecvență, unele în capsulă mare TO3, iar altele în capsulă mai mică SOT9 (tipurile AD 152, AD 155).

Avem trei familii de tranzistoare după mărimea curentului de colector:

1) I_{CM}= 2A AD 152, AD 155
2) I_{CM}= 3A AD 130, 131, 132; AD 149; EFT 212, 213. 214; EFT 250.
3) I_{CM}=10A ASZ 15, 16, 17, 18.

Pentru reținerea parametrilor principali am întocmit tabelul de mai jos:

Tranzistor	POL	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_{CM} (A)	h_{21E} tipic (dispersia)	$U_{CE\,sat}$ (V)	la] I_C (A)	f_T MHz	R_{thjc} °C/W	T_{jmax} °C	P_D $f(U_{CE})$ Tc=45°C
AD 152	PNP	45	23	2	75 (35—150)	0,9	2	>0,8	7,5	85	6 W cu rad. infinit
AD 155	PNP	25	15	2	120 (50—200)	0,9	2	>0,8	7,5	85	6 W cu rad. infinit
AD 130	PNP	32	30	3	50 (20—100)	0,6	3	>0,25	1,5	90	30 W la 0—10 V 20 W la 0,5 U_{CEO} 15 W la 0,7 U_{CEO}
AD 131	PNP	60	45	3	50 (20—100)	0,6	3	>0,25	1,5	90	
AD 132	PNP	80	60	3	50 (20—100)	0,6	3	>0,25	1,5	90	10 W la 0,85 U_{CEO} 6 W la U_{CEO}
AD 149	PNP	50	30	3	60 (30—100)	0,3	2	>0,5	2	90	22 W la 0—10 V 15 W la U_{CE}=20 V 10 W la U_{CE}=25 V 5 W la U_{CEO}
ASZ 15	PNP	100	60	10	40 (20— 55)	0,35	10	0,2	1,5	90	30 W la 0—10 V 20 W la 0,5 U_{CEO} 15 W la 0,7 U_{CEO} 10 W la 0,85 U_{CEO} 6 W la U_{CEO}
ASZ 16	PNP	60	32	10	75 (45—130)	0,35	10	0,25	1,5	90	
ASZ 17	PNP	60	32	10	50 (25— 75)	0,35	10	0,22	1,5	90	
ASZ 18	PNP	100	60	10	80 (30—110)	0,35	10	0,22	1,5	90	

TRANZISTOARE DE PUTERE DIN FABRICAȚIA ANILOR 1960—1970*

(* în paranteză este trecut tipul nou, înlocuitor)

Tranzistor	POL	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_{CM} (A)	h 21E tipic (dispersia)	$U_{CE\ sat}$ (V)	la I_c (A)	f_T (MHz)	R_{thJc} (°C/W)	$T_{j\ max}$ (°C)	P_D T_C=45°C
EFT 212 *(AD 130)	PNP	30	20	3	40 20—150	0,4	3	0,2	2	85	20 W
EFT 213 *(AD 130)	PNP	40	30	3	40 20—150	0,4	3	0,2	2	85	20 W
EFT 214 *(AD 131)	PNP	60	40	3	40 20—150	0,4	3	0,2	2	85	20 W
EFT 250 *(AD 132)	PNP	80	60	3	40 20—150	0,4	3	0,2	2	85	20 W

● Tranzistoarele AD 152 și AD 155 admit un I_{CM}=2 A cu o conservare bună a curentului pînă la 1 A și doar acceptabilă spre curenți de 2 A, așa cum arată fig. 8 a.

Pentru forțarea unui curent de 2 A, tensiunea U_{BE} necesară este de cca 0,8 V cu dispersie cuprinsă între 0,65 și 1,15 V. Avînd o amplificare mai bună (h_{21E}) tipul AD 155 se excită mai ușor decît AD 152, necesitînd o putere mai mică a etajului prefinal, ceea ce se vede în fig. 8b.

● La un etaj final de putere cu 2 tranzistoare PNP, a cărui schemă simplificată este arătată în fig. 9, avem următoarele mărimi caracteristice:

a) Tensiunea maximă la care este supus un tranzistor: U_{CEmax} = =0,5 U_B.

b) Curentul de vîrf de colector: $I_{CM} = \dfrac{\frac{U_B}{2} - U_{CE\ sat}}{R_s + R_E} \cong \dfrac{U_B}{2R_s}$

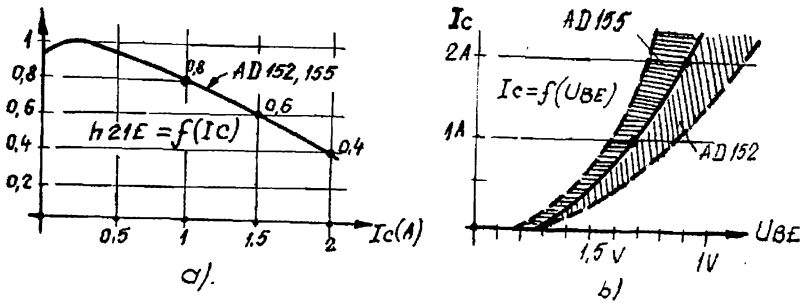

1
0,8
0,6
0,4
0,2
0,8
AD 152, 155
0,6
0,4
h21E = f(Ic)
0,5
1
1,5
2
Ic(A)
a).
Ic
AD 155
2A
Ic=f(UBE)
1A
AD 152
UBE
1,5 V
1V
b)

Fig. 8

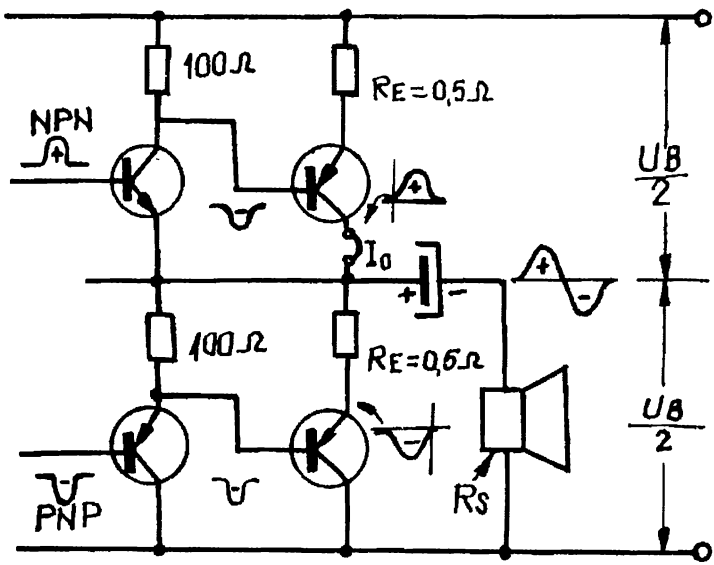

100Ω
RE=0,5Ω
NPN
UB
2
Io
100Ω
RE=0,5Ω
UB
2
PNP
Rs

Fig. 9

c) Puterea de ieşire maximă: $P_{ieş\ max}$

$$P_{ieş max} = \frac{(U_B - 2 \cdot U_{CE\ sat} - 2R_E I_{CM}}{8(R_s + R_E)} \simeq \frac{U_B^2}{10R_s}$$

d) Puterea pierdută=P disipată de ambele tranzistoare, are loc la 0,5 $P_{ieş\ max}$ şi este dată de relaţia:

$$P_d = 0{,}33 \cdot P_{ieş\ max} + U_B \cdot I_0 \cong 0{,}37 P_{ieş\ max}.$$

e) Curentul continuu mediu absorbit la $P_{ieş\ max}$ din sursa de alimentare:

$$I_{omax} \cong \frac{1{,}5 \cdot P_{ies\ max}}{U_B}$$

● Cu aceste valori să determinăm mărimile principale ale etajului final (un canal) al RR „BUCUR" ştiind că tensiunea redresorului stabilizat, care alimentează etajul final, este de cca 22 V la I_o=0,65 A şi că difuzorul are rezistenţa în c.c. egală cu 4,5 Ω iar tranzistoarele AD 152 (AD 155) o tensiune de saturaţie de 0,9 V la I_c=2 A.

Se determină:

$$I_{CM} = \frac{11-0{,}9}{4{,}5+0{,}5} = 2\text{A} \quad P_{ieş\ max} = \frac{22 - 2 \cdot 0{,}9 - 2 \cdot 0{,}5 \cdot 2}{8(4{,}5+0{,}5)} = \frac{18{,}2^2}{40} = 8{,}25\ \text{W}$$

$$P_d = 0{,}33 \cdot 8{,}25 + 22 \cdot 0{,}015 = 2{,}73 + 0{,}33 = 3{,}06\ \text{W}$$

P_d=1,53 W pe fiecare tranzistor

$I_{o\ max} = 1{,}5 \cdot 8{,}25/22 = 0{,}57$ A.

● Tranzistorul AD 149 este utilizat în stabilizatorul de tensiune al TV portabil „Sport". Curentul care trece prin tranzistor este chiar consumul de cca 1,8 A al televizorului. Tensiunea U_{CE} la bornele tranzistorului este variabilă şi anume: cca 5 V la $U_{reţea}$= =220 V, fiind diferenţa dintre tensiunea de 15,5 V la bornele C 404 (2 200 μF) şi tensiunea la ieşirea stabilizatorului: 10,5—10,8 V. La tensiunea de reţea de 242 V, (+10%), tensiunea continuă pe C 404 este de 17,1 V astfel că U_{CE}=17,1—10,5=6,6 V. În această situaţie limită, puterea disipată de tranzistor este:

$$P_d = 6{,}6 \cdot 2 = 13{,}2\ \text{W}.$$

Știind că $R_{thj-c}=2°C/W$, rezultă că joncțiunea este cu cca 30°C (2°C/W·13 W=26°C) mai caldă decît capsula. Temperatura capsulei este de cca 45°C atunci cînd temperatura camerei este de 30°C; aceasta înseamnă că joncțiunea are cca 70°C, tranzistorul fiind aproape de limita superioară a temperaturii maxime admise (90°C).

* Înlocuirea tranzistorului AD 149 cu un tranzistor din seria ASZ, de exemplu ASZ 16 sau ASZ 17, este o soluție pentru a asigura o mai mare fiabilitate televizorului întrucît la 13 W, diferența de temperatură joncțiune-capsulă va fi doar de 20°C, deoarece $R_{thjc}=1{,}5°C/W$ la seria ASZ.

Cu o pereche de tranzistoare ASZ 15 se poate realiza un amplificator de AF a cărui putere și principale date le putem ușor determina:

a) Tensiunea de alimentare poate fi de 30—50 V deoarece $U_{CEO}\geqslant 60$ V.

b) Curentul de vîrf I_{CM} poate fi de 8 A dar în scopul funcționări într-o zonă mai lineară a caracteristicei $h_{21E}=f(I_c)$, admitem 5 A Alegem: $U_B=40$ V și $I_{CM}=5$ A. Rezultă R_s (difuzorul) din relația

$$I_{CM}\cong\frac{U_B}{2R}\text{ sau }\quad R_s=\frac{U_B}{2I_{CM}}=\frac{40}{2.5}=4\,\Omega$$

Puterea maximă de ieșire (fără rezistențe de emitor de 0,5 Ω) va fi:

$$P_{ieș\ max}\cong\frac{U_B^2}{10R_s}=\frac{1\,600}{40}\cong 40\text{ W}.$$

Mai exact,
$$P_{ieș\ max}=\frac{(U_B-2U_{CE\ sat}-2R_EI_{CM})^2}{8(R_s+R_E)}=$$

$$=\frac{(40-2\cdot 0{,}35-2\cdot 0{,}5\cdot 5)^2}{8(4+0{,}5)}=36\text{ W}$$

deci: $P_{ieș\ max}=36$ W. (la care distorsiunile pot fi 13—17%). Se poate conta că la 25 W distorsiunile vor fi de ordinul a 2—3%, ceea ce se verifică în practică. Curentul continuu necesar:

$$I_{o\ max}=\frac{1{,}5\cdot 36\text{ W}}{40\text{ V}}\cong 1{,}35\text{ A}.$$

5. TRANZISTOARE DRIFT PENTRU FI ŞI RF

Familia de tranzistoare drift cuprinde tipurile EFT 317, EFT 319, EFT 320.

Aşa cum se ştie, frecvenţa de tăiere f_T a acestor tranzistoare este de 30—40 MHz. Înţelegem deci că la $f=30$—40 MHz, amplificarea β în curent alternativ devine 1; cu alte cuvinte la aceste frecvenţe tranzistorul drift nu mai amplifică un semnal aplicat la intrare, deoarece raportul β dintre curentul alternativ de colector şi curentul alternativ al bazei este 1. Să reţinem că:

$$\text{La } f=f_T \qquad \beta=\frac{I_{C\sim}}{I_{B\sim}}=1, \text{ deoarece } f_T=f\cdot\beta_1.$$

Pentru imediată comparaţie, tranzistoarele moderne, succesoare ale tranzistoarelor drift, şi anume familia BF 214—BF 215 au $f_T=250$ MHz.

Ca urmare, tranzistorul BF 214 va avea la frecvenţa de 30 MHz o amplificare β în curent alternativ egală cu:

$$\beta\sim=\frac{f_T(\text{MHz})}{30\text{ MHz}}=\frac{250}{30}\cong 8 \text{ deoarece } f_T\simeq f\cdot\beta_1$$

Aceasta înseamnă de pildă că o tensiune de FI de 1 mV (cu frecvenţa de 30 MHz) aplicată pe bază va „produce" în circuitul de colector o tensiune de FI de 8 mV.

Tranzistoarele EFT 317, 319, 320 pot însă funcţiona ca amplificator în mod satisfăcător pînă la frecvenţa de ordinul a 10—15 MHz, adică pînă la cca 0,5 f_T, ceea ce este valabil pentru toate tranzistoarele de înaltă frecvenţă.

Prima reflexie: tipurile BF 214—215 avînd $f_T=250$ MHz, pot lucra satisfăcător pînă la frecvenţa de cca 120 MHz, adică în gama de UUS sau în primele canale de televiziune (canalul 5 are max 100 MHz), dar nu la 200—300 MHz (canalele 6—12 de TV) [Aviz celor ce înlocuiesc pe BF 200 ($f_T=500$ MHz) cu BF 214 ($f_T=250$ MHz) în selectorul de canale TV).

● Într-un etaj de FI-MA tranzistorul drift EFT 319 este însă aproape egal cu tranzistorul BF 214, deoarece la $f=0{,}5$ MHz este puţin important dacă frecvenţa f_T a tranzistorului este de 50 ori sau 500 ori mai mare decît f de lucru. Şi aceasta deoarece panta S sau (Y_{21}) a unui tranzistor de înaltă frecvenţă este cam la fel

de mare atît timp cît frecvența de lucru este de 10 ori mai mică decît f_T, așa cum se vede din fig. 10, unde pînă la cca 0,1 f_T panta este constantă și egală cu 35 mA/V (la I_C=1 mA).

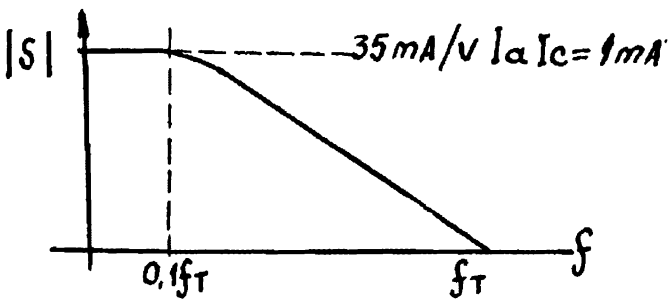


Fig. 10

Alții sînt factorii care vor influența asupra amplificării de FI și anume rezistențele de intrare și de ieșire, care sînt cu atît mai mari cu cît tranzistorul este mai bun.

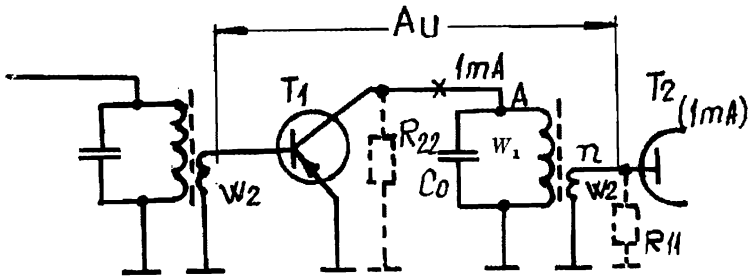


Fig. 11

Pentru a înțelege cum parametrii *y* ai unui tranzistor influențează amplificarea unui etaj de FI, vom prezenta schema electrică simplificată a acestuia (fig. 11):

$$n = \frac{W_1}{W_2} = 20 \qquad R_0 = \frac{1}{2\pi C B_0} \qquad B_0 = \frac{f_0}{Q_0}$$

$$R_s = R_0 \parallel R_{22} \parallel R_{11} \cdot n^2$$

$$Au = \frac{S \cdot R_s}{n}$$

Din cei patru parametri y (cu 8 componente) ne interesează, în prima analiză, numai 3 componente sau mărimi:

R_{11} = rezistența de intrare în schema cu emitorul comun (EC)

R_{22} = rezistența de ieșire

Y_{21e} = modulul admitanței de transfer sau panta S.

Luăm cele 2 tranzistoare discutate: EFT 319 și BF 214 cu următorii parametri la $U_{CE}=10$ V, $I_C=1$ mA și $f=0{,}5$ MHz:

	EFT 319	BF 214	
R_{11}	1	2	KΩ
R_{22}	300	1 000	KΩ
S	$35 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	A/V

Uzual avem: $C_0=1$nF $(1 \cdot 10^{-9}$F) $Q_0=90$

$$B_0=\frac{455}{90}=5 \text{ KHz}$$

$$R_0=\frac{1}{6{,}28 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^3}=32 \cdot 10^3 \quad (32 \text{ KΩ})$$

Deci în gol, fără tranzistoarele T_1 și T_2 conectate la circuitul acordat, rezistența la rezonanță R_0 a circuitului de FI este de 32 KΩ.

Conectînd tranzistorul T_1 în punctul A rezistența de ieșire R_{22} (de 0,3 MΩ la EFT 319 și de 1 MΩ la BF 214) va amortiza un pic circuitul acordat, rezultînd:

la 319 $R=32$ KΩ $\|$ 300 KΩ $\rightarrow$ 29 KΩ (90% din 32 KΩ deci $Q_s=81$)

la 214 $R=32$ KΩ $\|$ 1 MΩ $\rightarrow$ 31 KΩ (97% din 32 KΩ deci $Q_s=87$).

Deci factorul de calitate scade de la 90 la 87 în cazul lui BF 214 și la 81 în cazul lui EFT 319, iar banda de trecere crește cu 3% și respectiv 10%.

Conectînd tranzistorul T_2, rezistența de intrare R_{11} a acestuia va amortiza și ea circuitul acordat de FI, dar prin intermediul raportului de transformare n=20, astfel că R_{11} este transpus cu n^2 la circuitul acordat: $n^2=400$.

Ca urmare amortizarea datorită R_{11} va fi:

la 319: $R_{11}=n^2R_{11}=400\cdot 1=400$ KΩ

la 214: $R_{11}=n^2R_{11}=400\cdot 2=800$ KΩ.

Rezultă deci R_s'

la 319 $R_s=32$ KΩ $\|$ 300 KΩ $\|$ 400 KΩ$=27$ KΩ

la 214 $R_s=32$ KΩ $\|$ 1 MΩ $\|$ 800 KΩ$=30$ KΩ.

Cu aceasta calculăm amplificarea etajului:

la 319 $A_u=\frac{27\cdot 10^3\cdot 35\cdot 10^{-3}}{20}=47{,}3$ ori (33,7 dB)

la 214 $A_u=\frac{30\cdot 10^3\cdot 35\cdot 10^{-3}}{20}=52{,}5$ ori (34,2 dB)

care rezultă cu 0,5 dB mai mare în cazul folosirii tranzistorului BF 214, ceea ce este cu totul nesemnificativ.

Concluzii: ① pentru FI—MA (455 KHz), tranzistoarele drift EFT 319 sînt excelente, chiar dacă rezistența de ieșire este mai mică (de ordinul a 100—200 K la EFT 319 verde F sau 319 albastru E); ② Este deci clar că înlocuirea tranzistoarelor din ultimul etaj de FI nu este critică chiar dacă amplificarea de curent continuu β are valori mici, de 10—20, deoarece panta este cea care contează și nu β. ③ folosirea în FI a tranzistoarelor EFT 317 și EFT 320 este posibilă în locul tipurilor EFT 319, deoarece la $f=$ $=0{,}5$ MHz, R_{11}, R_{22} și S sînt identici.

Tot așa însă trebuie să nu se uite că în etajul al doilea de FI, care este comandat de RAA, este necesară folosirea unui tranzistor cu β mare (amplificarea de c.c.) ca și la EFT 319 albastru. Tip înlocuitor poate fi EFT 317 sau EFT 320 cu β mai mare de 50 sau un tranzistor EFT 319 verde ales ca să aibă $\beta>50$.

● În etajele de RF UL și UM (0,15—1,6 MHz) tranzistoarele EFT 319, verde, verde *F* sau albastru, albastru *E*, fac foarte bine funcția de mixer autooscilant fără să se observe modificări ale sensibilității (amplificării).

● În postul de mixer autooscilant de unde scurte, sau de oscilator de scurte, înlocuirea tranzistoarelor mai bune (317) prin 319 se poate face numai prin încercarea aptitudinii exemplarului în cauză de a oscila la o tensiune de alimentare de 50% din

tensiunea nominală (cazul RR Alfa, Milcov, cu US, etc). Aceasta deoarece în postul de oscilator, parametrii măsurabili nu pot fi corelaţi uşor cu condiţiile în care este pus tranzistorul să oscileze (cuplajul de reacţie, dispersia şi tolcranţele montajului etc).

Trebuie însă menţionat că tranzistoarele drift 317—319 vor dispare în anii următori din aparatele noi deoarece tehnologia planară face posibilă fabricarea unor tranzistoare superioare şi tehnic şi sub aspectul economic.

*

Cu aceasta se încheie capitolul tranzistoarelor cu germaniu. *S-a căutat în permanenţă ca volumul de cunoştinţe şi informaţii să fie astfel prezentat încît să fie util şi pentru tranzistoarele cu siliciu şi mai ales pentru înţelegerea corectă şi pe o cale simplă a multor probleme.*

*

* *

II. TIPURI ŞI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

Procesul de informare şi de cunoaştere trebuie să se concentreze de acum în mod special asupra tranzistoarelor moderne cu care deja lucrăm şi care se vor generaliza în scurt timp.

● Cunoaştem acum doar cîteva tipuri de tranzistoare cu siliciu mai răspîndite: BC 107—108—109; BF 214—215; BF 200; BF 167—173; BF 178 sau tipurile BF 182—183 care au şi ieşit deja din uz. Apar în aceste zile pe agendă, tranzistoarele de UIF BF 180 şi BF 181. Toate acestea sînt tranzistoare NPN, majoritatea lor fiind însă tranzistoare „mici", adică de 100—200 mW şi de joasă tensiune (15—45 V). Doar BF 178, excelent amplificator final video (mai bun decît un PFL 200), este un tranzistor de 160 V cu puterea disipată de 2—3 W.

● A apărut de cîteva luni o avalanşă de tranzistoare complect noi, a căror cunoaştere determină munca de fiecare zi. Scopul acestui important capitol este prezentarea şi clasificarea noilor tranzistoare şi gruparea lor astfel încît să devină la fel de uşor de cunoscut ca şi tipurile cu care sîntem deja obişnuiţi. Vor intra în uz tranzistoare NPN şi PNP de putere mică, de medie putere,

de comutație, tranzistoare cu tensiuni pînă la 1 500 V. Majoritatea covîrșitoare a tranzistoarelor mici au deja capsula de plastic — pe linia economiei de metale și ore mașini de prelucrare — și chiar tranzistoarele de putere în plastic, vor domina pe cele în vechea și scumpa (de două ori mai scumpă decît *structura*) capsulă din metal TO 3.

● Înainte de a analiza fiecare familie de tranzistoare cu siliciu vom prezenta într-un tabel sinoptic toate aceste familii, cu tipurile multe ale fiecărei familii. Tipurile **foarte multe** se deosebesc în general prin capsulă și extrem de puțin sub aspectul parametrilor electrici, fiind în principiu interșanjabile. După cum se va vedea în tabel, capsulele de plastic sînt și ele diferite între ele și uneori chiar ordinea terminalelor este alta, deoarece capsula depinde de construcția interioară a suportului metalic pe care este fixat sistemul (structura).

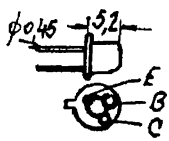
A. TRANZISTOARE Si PNP ȘI NPN DE AF ȘI COMUTAȚIE, DE MICĂ PUTERE

Sînt foarte cunoscute pînă acum tranzistoarele NPN cu siliciu BC 107—BC 108—BC 109 utilizate în etajele de audiofrecvență ale radioreceptoarelor precum și în etajele cele mai diverse (de audiofrecvență, de comutație sau prefinale video) ale televizoarelor.

1. TRANZISTOARE NPN

Familia BC 107—108—109, în capsulă metalică TO 18, se produce pe plan mondial din anii 1965—1966, de către aproape toate firmele de semiconductoare: Philips cu sucursalele (Valvo, MBLE, Mullard, La Radiotehnique) apoi Siemens, AEG-Telefunken, SESCOSEM, ATES-SGS, Texas Instruments, Motorola, Fairchild etc.).

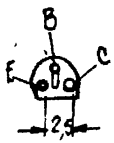
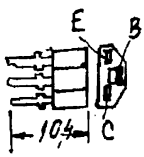
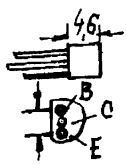
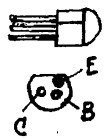
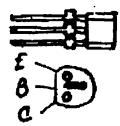
În ultimii ani se fabrică tranzistoare similare și echivalente tipurilor BC 107—108—109, dar în capsulă de plastic. După rezolvarea marilor probleme de impermeabilitate a materialului plastic, din care se toarnă capsulele diodelor și tranzistoarelor, tehnologia în plastic a devenit mai productivă iar tranzistoarele în plastic mai ieftine cu 20—40% decît echivalentele lor în metal.

	CAPSULA	METAL	PLASTIC
NPN AUDIO ȘI COMUTAȚIE PL. EPITAXIALE	U_{CEO}=45 V	BC 107	BC 171
	U_{CEO}=20 V	BC 108	BC 172
	U_{CEO}=20 V F=3 dB	BC 109	BC 173
β =100—1 000 I_{CM}=200 mA I_C =100 mA P_d =0,2—0,3 W f_T =150—300 MHZ F =2—10 dB			
PNP AUDIO ȘI COMUTAȚIE PL. EPITAXIALE	CAPSULA	METAL	PLASTIC
	U_{CEO}=—45V	BC 177	BC 251
	U_{CEO}=—20V	BC 178	BC 252
	U_{CEO}=—20V F=3 dB	BC 179	BC 253

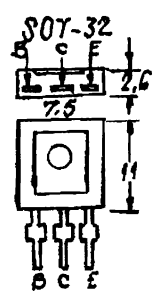
2. TRANZISTOARE NPN ȘI

		U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_C (A)
NPN PL. EPITAXIAL R_{thjc}=10°C/W	BD 135	45	45	1
	BD 137	60	60	1
	BD 139	80	80	1
PNP PL. EPITAXIAL R_{thjc}=10°C/W	BD 136	— 45	—45	1
	BD 138	— 60	—60	1
	BD 140	— 80	—80	1

COMUTAȚIE NPN ȘI PNP DE MICĂ PUTERE

PLASTIC	PLASTIC	PLASTIC	EPOXY	PLASTIC
BC 237	BC 147	BC 167	BC 207	BC 547
BC 238	BC 148	BC 168	BC 208	BC 548
BC 239	BC 149	BC 169	BC 209	BC 549
				
PLASTIC	PLASTIC	PLASTIC	EPOXY	PLASTIC
BC 307	BC 157	BC 257	BC 204	BC 557
BC 308	BC 158	BC 258	BC 205	BC 558
BC 309	BC 159	BC 259	BC 206	BC 559

PNP DE MEDIE PUTERE

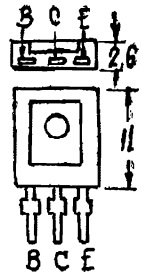
I_{CM} (A)	P_d t_a=45°C (W)	$P_d\infty$ (W)	h_{21E}	f_T (MHz)	capsula
1,5	1	6	40—250	100	
1,5	1	6	40—160	100	
1,5	1	6	30—140	100	
1,5	1	6	40—250	50	
1,5	1	6	40—160	50	
1,5	1	6	30—140	50	

		U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_C (A)
NPN EPIBAZĂ R_{thjc}= 5°C/W	BD 233	45	45	2
	BD 235	60	60	2
	BD 237	100	80	2
PNP EPIBAZĂ R_{thjc}= 5°C/W	BD 234	— 45	—45	2
	BD 236	— 60	—60	2
	BD 238	—100	—80	2

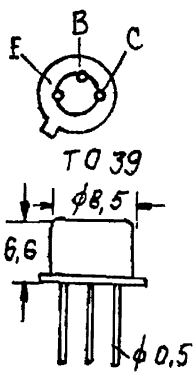
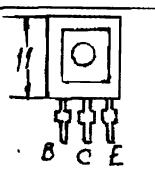
3. TRANZISTOARE NPN

	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	U_{EBO} (V)	I_{CM} (mA)	C_{12E} typ (pF)	f_T (MHz)
BF 177	100	100	5	50	2,7	120
BF 178	160	160	5	50	2,7	120
BF 179 A	180	185	5	50	2,7	120
BF 179 B	220	220	5	50	2,7	120
BF 179 C	250	250	5	50	2,7	120
BF 257	160	160	5	100	4,2	90
BF 258	250	250	5	100	4,2	90
BF 300	300	300	5	100	4,2	90
BF 457	160	160	5	200	4,7	90
BF 458	250	250	5	200	4,7	90
BF 459	300	300	5	200	4,7	90

Tabel (continuare)

I_{CM} (A)	P_d t_a=45°C (W)	$P_d\infty$ (W)	h_{21E}	f_T (MHz)	capsula
5	1	20	30—250	3	
5	1	20	25—200	3	
5	1	20	20—150	3	
5	1	20	30—250	3	
5	1	20	25—200	3	
5	1	20	20—150	3	

FINALE VIDEO

B la 10 V/300 mA	P_d (mW) la t_a=45°C	R_{thja} (°C/W)	T_{jmax} °C	$P_{tot}\infty$ (W)	capsula
>30	500	50	150	2,2	
>25	500	50	150	2,2	
>20	500	50	150	2,2	
>20	500	50	150	2,2	
>20	500	50	150	2,2	
>25	700	30	175	3,5	
>25	700	30	175	3,5	
>25	700	30	175	3,5	
>25	1 000	10	150	8	
>25	1 000	10	150	8	
>25	1 000	10	150	8	

Capsulele de plastic sînt foarte diferite ca formă și doar din această cauză apar multe tipuri de tranzistoare, care în fapt sînt echivalente sau chiar identice, precum cele de mai jos:

45 V BC 107= BC 147=BC 167=BC 207=BC 237= =BC 547=BC 171

20 V BC 108=BC 148=BC 168=BC 208=BC 238= =BC 548=BC 172

20 V BC 109=BC 149=BC 169=BC 209=BC 239= =BC 549=BC 173.

Proprietățile principale ale acestei familii de tranzistoare, planar epitaxiale, vor fi analizate în cele ce urmează:

A. Puterea disipată.

La temperatura ambiantă de 45°C, toate tipurile pot disipa cel puțin 200 mW, P_d=200 mW. Unele tipuri în plastic au P_d=250 mW (BC 171, 172, 173; BC 237, 238, 239; BC 167, 168, 169) iar tipurile în metal tot cca 250 mW. Rezistența termică între joncțiune și mediul ambiant este, la aceste tranzistoare, R_{thj-a}=0,5°C/W. Nu se recomandă ca aceste tranzistoare să fie utilizate la puteri mai mari de 150 mW pentru ca temperatura joncțiunii să nu depășească niciodată 125°C. În acest fel se asigură fiabilitatea în timp a acestor tranzistoare. Dacă tranzistorul lucrează într-o temperatură ambiantă de 75°C, puterea maximă ce o va putea disipa se determină cu relația cunoscută:

$$Pd = \frac{T_{j\,max} - T_a}{R_{thj-a}} = \frac{125-75}{0,5} = 100 \text{ mW}$$

Deci, în locuri „calde" ca, de exemplu, în televizoare, 100 mW este puterea maximă la care pot fi încărcate aceste tranzistoare.

B. Tensiunile maxime

Din o singură fabricație se sortează, după tensiunea U_{CBO}, 2 grupe de tranzistoare, astfel:

a) cele cu U_{CBO}>50 V→ adică tipul BC 107

b) cele cu U_{CBO}>30 V→ adică tipurile BC 108 și BC 109

c) din grupa de 30 V se sortează tranzistoarele cu zgomot foarte mic obținîndu-se tipul BC 109, restul devenind tranzistoarele cele mai comune, adică BC 108.

Știm că tensiunea U_{CEO} este mai mică decît tensiunea U_{CBO} cu 10—30%; la BC 107 avem $U_{CBO} \geqslant 50$ V iar $U_{CEO} \geqslant 45$ V, în timp ce la BC 108 $U_{CBO} \geqslant 30$ V iar $U_{CEO} \geqslant 20$ V.

Tensiunea U_{BE} normală este de 0,6—0,7 V. Tensiunea inversă ce poate fi aplicată între E şi B adică U_{EB} este în general de 5 V; depăşirea acestei tensiuni conduce la distrugerea joncţiunii emitor-bază.

	U_{CBO}	U_{CEO}	U_{EBO}
BC 107, 147, 167, 207, 237, 547, 171	50 V	45 V	6 V
BC 108, 148, 168, 208, 238, 548, 172	30 V	20 V	5 V
BC 109, 149, 169, 209, 239, 549, 173	30 V	20 V	5 V.

C. Curenţii admişi

— Curentul continuu de colector I_C este de 100 mA; I_C=100 mA.
— Curentul de vîrf maxim admis, de orice formă ar fi acesta: I_{CM}=200 mA.
— Curentul maxim admis al bazei (continuu sau de vîrf): I_B=50mA

Curenţii reziduali (inverşi) sînt foarte puternic dependenţi de temperatură, dar sînt extrem de mici:

Curentul I_{CBO}: la U_{CB}=20 V
1 nA ($1 \cdot 10^{-9}$A) la t_j=25°C
1 μA($1 \cdot 10^{-6}$A) la t_j=125°C

D. Amplificarea de curent.

Tipic pentru toate tranzistoarele planar epitaxiale este dependenţa de curent a amplificării, aşa cum se arată în fig. 12 din care se citeşte uşor esenţialul: amplificarea este mai mică la curenţi mici (de 0,1 . . . 1 mA) şi creşte de 2—3 ori cu creşterea curentului, fiind maximă pe la 10—20 mA. Cele 3 grupe:

grupa A	β=220 tipic,	(125 . . . 260) domeniu de dispersie
grupa B	β=330 „ ,	(240 . . . 500) „ „ „
grupa C	β=600 „ ,	(450 . . . 900) „ „ „

prezintă o dispersie relativ mare. De exemplu două tranzistoare BC 238 din grupa B adică BC 238 B, pot avea unul o amplificare β de 250 iar celălalt de 450, deoarece dispersia admisă pentru grupa B este de 240 . . . 500). Două tranzistoare din grupa C pot avea unul β=500 iar altul 900.

● Trebuie reamintit şi faptul că amplificarea de curent (β) depinde foarte mult de temperatura joncţiunii, aşa cum se vede în fig. 13.

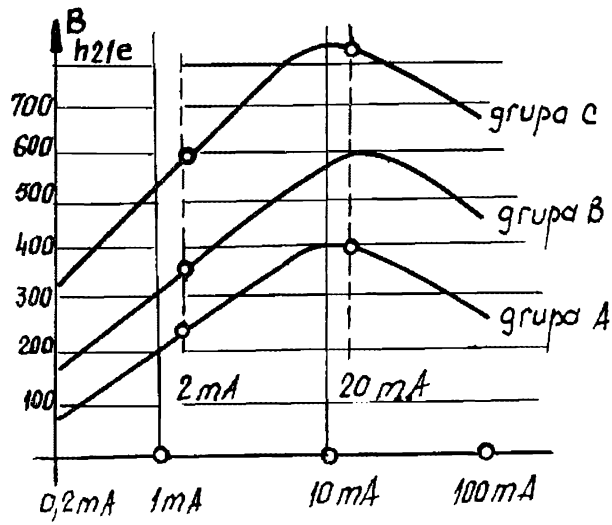

B
h21e
700
600
500
400
300
200
100
grupa C
grupa B
grupa A
2 mA
20 mA
0,2mA
1mA
10 mA
100 mA

Fig. 12

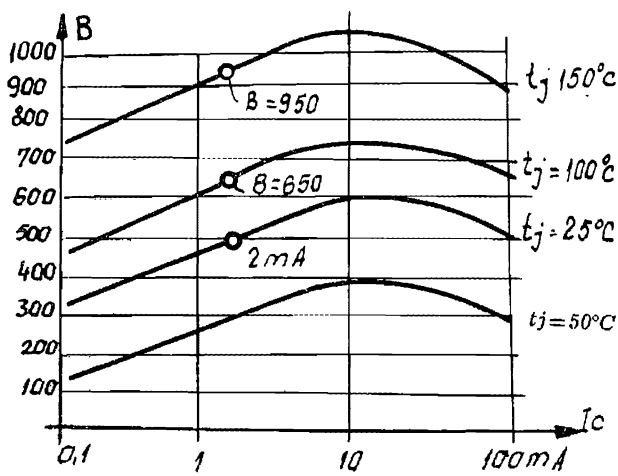

B
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
B=950
B=650
2 mA
tj 150°C
tj = 100°C
tj = 25°C
tj=50°C
Ic
0,1
1
10
100mA

Fig. 13

Așa de exemplu, un tranzistor din grupa C, BC 108 C, care are la t_j=25°C și I_C=2 mA β=500, va avea la t_j=100°C deja o amplificare β=650 iar la temperatura joncțiunii de 150°C (limita de funcționare), β=950.

● Tranzistoarele de tensiune ridicată (BC 107) avînd baza mai groasă, au implicit o amplificare mai mică: BC 107 nu are grupa C. Tot așa tranzistorul BC 109 nu are grupa A.

E. Proprietățile de frecvență ale familiei BC 107, 108, 109

Frecvența de tăiere f_T este de 150 ... 300 MHz, deoarece rezistența bazei $r_{bb'}$ este mică iar capacitatea colectorului este doar de 3÷5 pF. Cu toate că f_T este mare totuși *aceste tranzistoare nu pot fi utilizate în amplificatoare de RF sau FI*, deoarece capacitatea dintre colector și bază, care este de fapt capacitatea de reacție C_{12} este de ordinul a 3—4 pF și nu de 0,5—1 pF. Aceste tranzistoare pot fi însă oscilatoare foarte bune pînă la frecvența de ordinul a 200 MHz.

Frecvența de tăiere f_T depinde de curentul I_C, ca în curba din fig. 14.

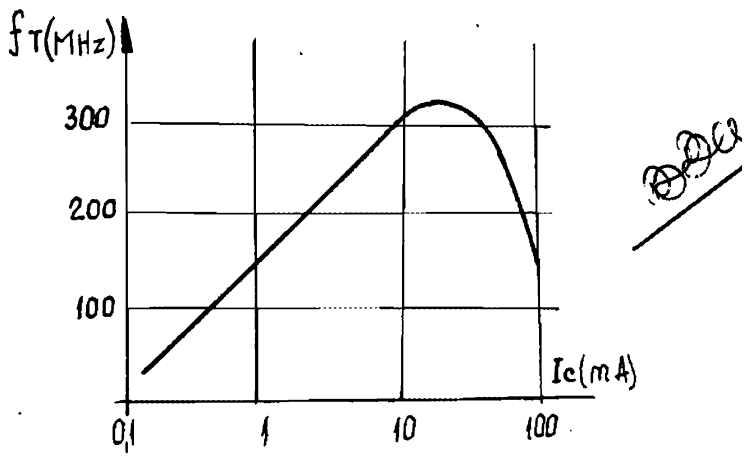


Fig. 14

Se vede că la 0,1—0,2 mA f_T=40—50 MHz, la 1—2 mA este de ordinul a 150—200 MHz, are un maxim la 300—350 MHz atunci cînd I_C=10—30 mA și scade la 120—150 MHz cînd curentul depășește 50 mA.

F. Proprietăţi de comutaţie

Cataloagele nu indică la aceste tranzistoare parametrii de comutaţie; cunoscînd capacităţile C_{CB}=3—5 pF şi C_{EB}=8—10 pF şi rezistenţele r_{11} şi r_{22}, se pot calcula parametrii de comutaţie, calcule ce se verifică în practică. Reamintim aceşti parametri, folosind fig. 15.

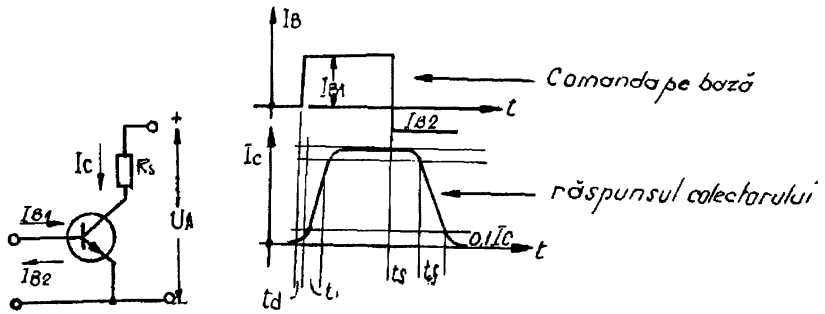


Fig. 15

t_d=timpul de întîrziere (delay time) = 5 . . . 25 ns
t_r=timpul de creştere (rise time) = 50 . . . 100 ns
t_s=timpul de stocare (storage time) =100 . . . 300 ns
t_f=timpul de cădere (fall time) = 50 . . . 150 ns.

Avînd timpul de conectare ($t_d + t_r$) de ordinul a 100 ns (0,1 μs) şi timpul de deconectare ($t_s + t_f$) de ordinul a 300—500 ns (0,3—0,5 μs) este evident că aceste tranzistoare pot fi utilizate în etaje de comutaţie cu impulsuri de ordinul microsecundelor sau zecilor de microsecunde, cum ar fi:

— sincroseparator de TV;
— amplificator de impulsuri;
— poartă cu coincidenţă (în RAA);
— amplificator de semnal complex video;
— oscilator de baleiaj orizontal.

● Privind timpii de comutaţie t_d, t_r, t_s şi t_f trebuie menţionat că aceştia depind în mare măsură de schema electrică a etajului. Mărirea impulsului de comandă pe bază produce mărirea curentului de colector. Cu cît curentul I_C este mai mare cu atît timpii t_d şi t_r vor fi mai mici; tranzistorul reacţionează mai „iute".

La mărirea impulsului de blocare, creşte curentul I_{B2} care curge din bază spre exterior (evacuîndu-se astfel sarcina din bază) şi ca urmare timpul de deconectare ($t_s + t_f$) se scurtează. O concluzie care se poate trage de aici, este că pentru a obţine flancuri mai abrupte la procesul de comutaţie, tranzistorul trebuie să fie comandat cu impulsuri de amplitudine mare.

● Timpii de comutaţie mai depind şi de durata impulsurilor de comandă. Doar atunci cînd durata impulsurilor de comandă este de cel puţin 10 ori mai mare decît timpii de comutaţie, timpii de comutaţie t_d, t_r, t_s şi t_f rămîn constanţi. La un impuls de comandă mai scurt creşte în special timpul de stocare t_s. Dacă durata impulsului de comandă este comparabilă cu timpul de conectare ($t_d + t_r$), tranzistorul „nu are" timpul necesar ca I_C să crească la valoarea sa maximă $I_C = \beta \cdot I_B$, iar tranzistorul nu ajunge la saturaţie şi ca urmare procesul de comutaţie nu se desăvîrşeşte. Situaţia poate fi privită în două feluri: fie că tranzistorul este prea lent pentru comutarea unor impulsuri foarte scurte fie că procesul de comutaţie este prea rapid pentru tranzistorul dat.

2. TRANZISTOARE PNP DE MICĂ PUTERE

Pînă acum Uzina Electronica a utilizat, în cîteva circuite, tranzistoare din familia PNP, BC 177—BC 178—BC 179, care sînt *complementare* tranzistoarelor NPN BC 107—BC 108—BC 109 analizate în capitolul precedent.

Prin *complementare* înţelegem că toţi parametrii de tensiune, curent, amplificare şi frecvenţă sînt identici sau foarte apropiaţi şi că doar conductibilitatea (NPN sau PNP) diferă, astfel că *perechi complementare* pot forma următoarele tranzistoare:

NPN	BC 107—BC 177	PNP
„	BC 108—BC 178	„
„	BC 109—BC 179	„

Evident că o pereche complementară BC 108—BC 178 trebuie formată cu tranzistoare din aceeaşi clasă de amplificare:

BC 108 B—BC 178 B.

Perechile complementare de astfel de tranzistoare nu se folosesc încă în etaje de audiofrecvenţă ci în unele circuite simetrice de comutaţie, cum ar fi de pildă oscilatorul de baleiaj vertical din televizorul portabil „SPORT".

Ca şi la familia de tranzistoare NPN BC 107—108—109, tranzistoarele în capsulă metalică BC 177—178—179, au echivalente

în capsulă din plastic, identice sau aproape identice electric şi din punct de vedere al utilizării:

45 V: BC 177=BC 157=BC 257=BC 307=BC 557=
=BC 204=BC 251
20 V: BC 178=BC 158=BC 258=BC 308=BC 558=
=BC 205=BC 252
20 V: BC 179=BC 159=BC 259=BC 309=BC 559=
=BC 206=BC 253.

Parametrii electrici sînt similari cu ai familiei NPN, adică:
A. Puterea disipată. P_d=0,2—0,25 W la t_a=45°C.
B. Tensiuni şi curenţi valori-limită.

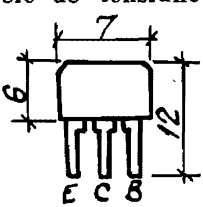
Tipul tranzistorului PNP.	$-U_{CBO}$	$-U_{CEO}$	$-U_{EBO}$	I_C	I_{CM}	I_{BM}	I_{CBO} (20V) 25°C	I_{CBO} (20V) 125°C
BC 177, 157, 257, 307, 557, 204, BC 251	50	45	5	100	200	100	50	5
BC 178, 158, 258, 308, 558, 205, BC 252	30	25	5	100	200	100	50	5
BC 179, 159, 259, 309, 559, 206, BC 253	25	20	5	100	200	100	50	5
B: A=125 . . . 260; B=240—500; VI=75—150.	V	V	V	mA	mA	mA	nA	μA

C. Amplificarea de curent. La tranzistoarele PNP este în general mai mică decît la tranzistoarele NPN. Avem 3 clase de amplificare:

clasa VI: β=100 (tipic) cu dispersia între 75 . . . 150
clasa A: β=220 „ „ „ „ 125 . . . 260
clasa B: β=330 „ „ „ „ 240 . . . 500.

Foarte puţine tranzistoare PNP de mică putere au clasa de amplificare C (β=500—900).

Amplificarea β a acestor tranzistoare este ca şi la cele NPN: tipurile de tensiune ridicată au β mai mic iar celc de tensiune redusă au β mare:
BC 177, 157, 257, 307, 557, 204, 251 : β= 75 . . . 250
(clasa VI şi clasa A)
BC 178, 158, 258, 308, 558, 205, 252 : β= 75 . . . 500
(clasele VI, A şi B eventual C)
BC 179, 159, 259, 309, 559, 206, 253 : β=125 . . . 500
(clasele A, B şi C).



● Proprietățile de frecvență și comutație sînt ca și ale tranzistoarelor complementare de tip NPN.

Trebuie menționat că fabricarea tranzistoarelor planar epitaxiale de tip PNP este mai dificilă decît a tranzistoarelor NPN; de aceea tranzistoarele PNP sînt mai scumpe și au o răspîndire mai mică. Se folosesc de regulă numai acolo unde nu se poate înlocmi circuitul dorit cu tranzistoare NPN.

● *Alte tranzistoare planar epitaxiale de audiofrecvență și comutație.*

În Cehoslovacia și U.R.S.S. se fabrică tranzistoare planar epitaxiale echivalente sau asemănătoare cu cele internațional standardizate prezentate pînă acum. Vom enumera unele dintre acestea în tabelul de mai jos iar conexiunile în figura de sus:

Tipul	Țara sau firma	U	I	Conexiuni	Echivalent	Înlocuitor
KC 507	TESLA	20	100	250 ... 900 E, B, C	BC 107	BC 171
KC 508	„	20	100	250 ... 900 E, B, C	BC 108	BC 172
KC 509	„	45	100	125 ... 500 E, B, C	BC 109	BC 173
KT 315 A	URSS	20	100	20 ... 90	—	BC 108 A
KT 315	„	15	100	70 ... 350 ECB	—	BC 108 A,B
KT 315 B	„	30	100	20 ... 90	—	BC 107 A
KT 315	„	25	100	70 ... 350	—	BC 108 A,B

B. TRANZISTOARE Si NPN ȘI PNP DE MEDIE PUTERE

1. FAMILIA BD135-BD136

Tehnologia planar-epitaxială face posibilă producerea unor tranzistoare de medie putere, asemănătoare ca performanțe cu tranzistoarele de medie putere cu germaniu AC 180 K—AC 181 K, destinate amplificatoarelor de AF cu puteri pînă la 3—4 W.

Spre deosebire de AC 180 K—181 K, familia BD 135—BD 136 are:

— tensiuni de lucru mai mari: 45—80 V față de 20—30 V;

Tabel de echivalenţe pentru tranzistoare fabricate de diferite firme americane, europene şi japoneze

Tipul	Firma	Ţara	Echivalent	Înlocuitor
BC 113	SGS	Italia	BC 237 B	BC 107 B
BC 115	„	„	BC 237 A	BC 107 A
BC 118	„	„	BC 237 A	BC 107 A
BC 129	Telefunken	RFG	BC 237	BC 107
BC 130	„	„	BC 238	BC 108
BC 131	„	„	BC 239	BC 109
BC 132	SGS	Italia	BC 237 A	BC 107 A
BC 134	„	„	BC 237 B	BC 107 B
BC 135	„	„	BC 237 A	BC 107 A
BC 170	ITT	RFG	—	BC 108
BC 181	Texas	SUA	BC 307 A	BC 177 A
BC 182	„	„	—	BC 107
BC 183	„	„	BC 237	BC 107
BC 184	„	„	—	BC 107
BC 186	Mullard	Anglia	BC 307 A	BC 177 A
BC 187	„	„	BC 308 B	BC 178 B
BC 196	Telefunken	RFG	BC 258	BC 178
BC 197	„	„	—	BC 107
BC 198	„	„	—	BC 108
BC 199	„	„	—	BC 109
BC 212	Texas	SUA	—	BC 177
BC 213	„	„	BC 307	BC 177
BC 214	„	„	—	BC 177

Tabel (continuare)

Tipul	Firma	Țara	Echivalent	Înlocuitor
BC 218	Iskra	RSFJ	BC 237 A	BC 107 A
BC 220	SGS	Italia	BC 237 A	BC 107 A
BC 224	Texas	SUA	BC 257 B	BC 177 B
BC 231	„	„	—	BC 107
BC 232	„	„	—	BC 107
BC 234	Iskra	RSFJ	BC 237 A	BC 107 A
BC 235	„	„	BC 237 B	BC 107 B
BC 250	ITT	RFG	BC 308	BC 178
BC 260	„	„	BC 178	BC 252
BC 274	SESCOSEM	Franța	BC 307	BC 177
BC 275	„	„	BC 308	BC 178
BC 276	„	„	BC 309	BC 179
BC 277	„	„	BC 237	BC 107
BC 278	„	„	BC 238	BC 108
BC 279	„	„	BC 239	BC 109
BC 317	Motorola	SUA	BC 237	BC 107
BC 318	„	„	BC 238	BC 108
BC 319	„	„	BC 239	BC 109
BC 320	Motorola	SUA	BC 307	BC 177
BC 321	„	„	BC 308	BC 178
BC 322	„	„	BC 309	BC 179
BC 333	„	„	BC 238	BC 108
BC 334	„	„	BC 308	BC 178
BC 335	„	„	BC 239	BC 109
BC 336	„	„	BC 309	BC 179

Tabel (continuare)

Tipul	Fimar	Țara	Echivaleut	Înlocuitor
BC 347	„	„	BC 237	BC 107
BC 348	„	„	BC 237	BC 107
BC 349	„	„	BC 238	BC 108
BC 350	„	„	BC 307	BC 177
BC 351	„	„	BC 307	BC 177
BC 352	„	„	BC 308	BC 178
BC 354	„	„	BC 308	BC 178
BC 355	„	„	BC 308	BC 178
BC 358	„	„	BC 238 B	BC 108 B
BC 385	Texas	„	BC 237	BC 107
BC 386	„	„	BC 238	BC 108
BC 407	Philips	Olanda	BC 237	BC 107
BC 408	„	„	BC 238	BC 108
BC 409	„	„	BC 239	BC 109
BC 413	Siemens	F<2 dB	U_{CEO}=30 V	(BC 109)
BC 414	„	„	U_{CEO}=45 V	(BC 109)
BC 415	„	„	U_{CEO}=30 V	(BC 179)
BC 416	„	„	U_{CEO}=45 V	(BC 179)
BC 417	Compelec	Franța	BC 307	BC 177
BC 418	„	„	BC 308	BC 178
BC 419	„	„	BC 309	BC 179
BC 437	Hitachi	Japonia	BC 237	BC 107
BC 438	„	„	BC 238	BC 108
BC 439	„	„	BC 239	BC 109

Tabel (continuare)

Tipul	Firma	Țara	Echivalent	Înlocuitor
BC 467	„	„	BC 167	BC 107
BC 468	„	„	BC 168	BC 108
BC 469	„	„	BC 169	BC 109
BC 512	Texas	SUA	BC 307	BC 177
BC 513	„	„	BC 308	BC 178
BC 514	„	„	BC 309	BC 179
BC 582	„	„	BC 237	BC 107
BC 583	„	„	BC 238	BC 108
BC 584	„	„	BC 239	BC 109
2 SA 499	Toshiba	Japonia	BC 177	BC 251
2 SA 500	„	„	BC 178	BC 252
2 SA 501	„	„	BC 179	BC 253
2 SA 549	Hitachi	„	BC 178	BC 252
2 SA 550	„	„	BC 177	BC 253
2 SA 564	Matsushita	„	BC 258	BC 178
2 SC 16	Toshiba	„	BC 107 A	BC 237 A
2 SC 17	„	„	BC 107 A	BC 237 A
2 SC 18	„	„	BC 107 A	BC 237 A
2 SC 74	„	„	—	BC 108 B
2 SC 103	„	„	BC 107 A	BC 237 A
2 SC 104	„	„	BC 107 A	BC 237 A
2 SC 105	„	„	BC 109 B	BC 109 B
2 SC 170, 171	Fujitsu	„	BC 108 C	BC 238 A
2 SC 318	Matsushita	„	BC 107 A	BC 237 A

Tabel (continuare)

Tipul	Firma	Țara	Echivalent	Înlocuitor
2 SC 350	Hitachi	„	BC 107 B	BC 237 B
2 SC 361, 2, 3	Toshia	„	BC 167	BC 107
KC 547	Tesla	Cehoslovacia	BC 147	BC 107
KC 548	„	„	BC 148	BC 108
KC 549	„	„	BC 149	BC 109
2 SC 368	Toshiba	Japonia	BC 168 B	BC 108 B
2 SC 369	„	„	BC 169 C	BC 109 C
2 SC 370, 1, 2, 3	„	„	BC 167	BC 107
2 SC 400	„	„	BC 107	BC 171
2 SC 528	Hitachi	„	BC 168 A	BC 108 A
2 SC 529	„	„	BC 167	BC 107
2 SC 530	„	„	BC 167	BC 107
2 SC 531	„	„	BC 167 A	BC 107 A
2 SC 533	„	„	BC 167 A	BC 107 A
2 SC 587	Matsushita	„	BC 107 B	BC 171 B
2 SC 619	Mitsubishi	„	BC 168 A	BC 108 A
2 SC 620	„	„	BC 167 A	BC 107 A
2 SC 710,1,2	„	„	BC 167 A	BC 107 A

— puterea disipată mai mare: max. 6 W față **de** max. 2,5 W;

— frecvența de tăiere mult mai mare: >50 MHz față de 2 MHz

— comportarea mai slabă la curenți I_C mari, deoarece amplificarea β scade pronunțat la curenți de peste 0,5 A.

— tensiune de saturație mai mare $U_{CE\ sat} \simeq 1$ V la $I_C = 1$ A la BD 135—136 față de $U_{CEsat} = 0{,}35$ V la AC 180—181 (la $I_C = 1$ A).

Tranzistoarele NPN sînt: BD 135, BD 137, BD 139 (cifră impară în simbol.

Tranzistoarele PNP sînt: BD 136, BD 138, BD 140 (cifră pară în simbol).

Formarea perechilor NPN—PNP se face la $U_{CE} = 2$ V și $I_C = 150$ mA, admițîndu-se o diferență maximă de 40% între amplificările de curent ale celor două tranzistoare.

$$\frac{B_1}{B_2} \leqslant 1{,}4$$

Cei mai mulţi producători, fac astfel împerecherea încît tranzistorul PNP să aibă amplificarea mai mare iar cel NPN mai mică pentru ca la curenţi mari (unde β la PNP scade mai pronunţat) amplificările să fie aproximativ egale.

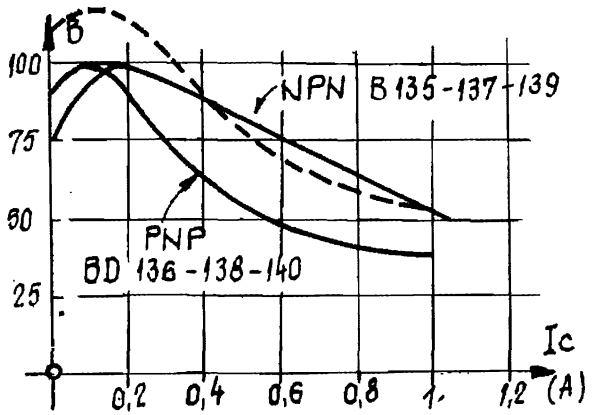


Fig. 16

Variaţia tipică a amplificării cu curentul este arătată în fig. 16. Se vede cum la tranzistoarele NPN BD 135—137—139, β scade de la cca 100, cît este la I_C=0,15 A, pînă la 50—60 la I_C=0,8—1 A.

La tranzistoarele BD 136—138—140, β=100 la I_C=0,15 A şi scade la 35—40 la I_C=1 A.

La aceste tranzistoare avem 3 clase de:
- clasa 6 cu β tipic= 60 (40 . . . 100)
- clasa 10 cu β tipic=100 (63 . . . 160)
- clasa 16 cu β tipic=160 (100 . . . 250):

Simbolul complet este de exemplu: BD 136/10, adică cu β= =63 . . . 160 (tipic 100).

Puterea disipată a acestor tranzistoare este definită de 3 mărimi termice:

— temperatura maximă admisă a joncţiunii: $T_{j\,max}$=150°C;

— rezistența termică joncțiune-capsulă R_{thjc}=10°C/W.
— rezistența termică joncțiune-ambiant R_{thja}=100°C/W.

a) Cunoscînd aceste valori, se poate determina ce putere poate disipa acest tranzistor fără radiator:

de ex: la temperatura ambiantă de 50°C, temperatura joncțiunii va atinge 150°C la o putere: $Pd = \frac{T_{j\,max} - T_a}{R_{thja}} = \frac{150-50}{100} = 1$ W.

b) Utilizînd tranzistorul cu radiator, *trebuie să se țină seama de rezistența termică dintre joncțiune și capsulă* R_{thjc}=10°C/W, *precum și de rezistența termică* R_{thco} *dintre capsulă și radiator, care este foarte mare:*

A. cca 1°C/W cînd tranzistorul este strîns, neizolat pe radiator.
B. cca 9°C/W cînd se pune o izolație de 0,05 mm (de mică) ca izolație.
C. cca 13°C/W cînd se pune o izolație de 0,1 mm (de mică) ca izolație.
D. cca 15°C/W cînd se pune o izolație de 0,1 mm policarbonat.
E. cca 5°C/W cînd se utilizează cazul B, dar suprafața de contact se unge cu vaselină siliconică.

După cum se vede din cifrele de mai sus, rezistența termică R_{thco} (de contact) dintre capsula plată a tranzistorului și radiator, este comparabilă cu rezistența ce se opune evacuării căldurii de la joncțiune pînă la piesa metalică de contact a capsulei.

Atenție! Colectorul este conectat la piesa metalică de contact a capsulei.

Să calculăm temperatura joncțiunii în cazul unui tranzistor BD 136 încărcat cu 2 W în curent continuu, tranzistorul fiind montat pe un radiator care are R_{thR}=25°C/W (rezistența termică a radiatorului), în cele 5 situații: A, B, C, D, E, temperatura ambiantă fiind 55°C. Se determină rezistența termică totală:

$$R_{th} = R_{thjc} + R_{thco} + R_{thR}$$

A. $R_{th} = 10 + 1 + 25 = 36$°C/W
B. $R_{th} = 10 + 9 + 25 = 44$°C/W
C. $R_{th} = 10 + 13 + 25 = 48$°C/W
D. $R_{th} = 10 + 15 + 25 = 50$°C/W
E. $R_{th} = 10 + 5 + 25 = 40$°C/W.

Din formula $P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{th}}$ se obține: $T_j = T_a + R_{th} \cdot P_d$ rezultînd următoarele temperaturi T_j:

în situația A: 127°C
în situația B: 143°C
în situația C: 151°C
în situația D: 155°C
în situația E: 135°C.

Din rezultatele de mai sus se trage concluzia că numai soluțiile A și E pot fi practic folosite, deoarece la celelalte soluții fie că se depășește fie că sîntem foarte aproape de temperatura maximă a joncțiunii. Radiatorul de 25°C/W este o placă de aluminiu gros de 2 mm și $S = 20$ cm^2. (4 × 5 cm); un radiator mai mare de ex. 8 × 8 cm = 64 cm^2 ar avea o rezistență termică de cca 10°C/W dar în condiții reale nu se folosește un radiator așa de mare decît pentru o pereche de tranzistoare (cazul unui etaj final de AF).

Concluzie: Tranzistoarele din familia BD 135—136, avînd o capsulă mică cu suprafață redusă de contact pe radiator (0,5 cm^2), pot fi încărcate, în condiții practice — cu radiator și la ambianță de 25—30°C — pînă la cel mult 3—4 W. La puteri disipate mai mari, datorită rezistenței mari de contact între capsulă și radiator, încălzirea joncțiunii poate depăși 140—150°C ceea ce pune în pericol viața tranzistorului.

Utilizarea tranzistoarelor BD 135—136, în amplificatoarele de AF, este posibilă la tensiuni mai mari de alimentare ce pot merge pînă la 0,8—0,9 din tensiunea U_{CEO}=, adică pînă la cca:

40 V pentru perechea BD 135—136 care au $U_{CEO} = 45$ V
50 V „ „ BD 137—138 „ $U_{CEO} = 60$ V
70 V „ „ BD 139—140 „ $U_{CEO} = 80$ V.

Pentru a obține distorsiuni mici la puteri mari, curentul de colector de vîrf nu va depăși în nici un caz 1 A, de dorit $I_{CV} = 0{,}7—0{,}8$ A. Rezistența de sarcină (impedanța difuzorului) poate fi determinată cu relația:

$$R_s \simeq \frac{0{,}45\ U_{ALIM}}{I_{CV}}$$

de exemplu la o pereche BD 135—136, cu tensiune de alimentare de 24 V se va folosi un difuzor cu impedanța R_s=0,45 · 24 V/0,7 A ≃16 ohmi. Puterea maximă a etajului final rezultă:

$$P_{ies} = \frac{(U_{AL\ M} - 2V)^2}{8\ R_S} \simeq \frac{484}{8 \cdot 16} \simeq 3{,}75 \quad W$$

Puterea de ieșire cu 5—10% distorsiuni va fi de cca 3 W.

● Un exemplu de aplicație este etajul final de baleiaj vertical al televizorului portabil „Sport", unde perechea complementară BD 135—BD 136, asigură un curent de deflexie pe verticală de cca 0,6 A_{vv}. Fiecare dintre tranzistoare lucrează deci cu un curent de vîrf de cca 0,3 A. Tensiunea de alimentare este de +25 V, iar sarcina etajului este bobina de deflexie verticală cu R=16 ohmi și L=30 mH.

● În TV cu circuite integrate, un tranzistor BD 136 lucrează ca stabilizator paralel pe bara de +13 V. Atunci cînd etajul final de AF consumă puțin (la volum mic), tranzistorul BD 136 consumă diferența de curent.

Schema electrică de principiu a acestui stabilizator este dată în fig. 17.

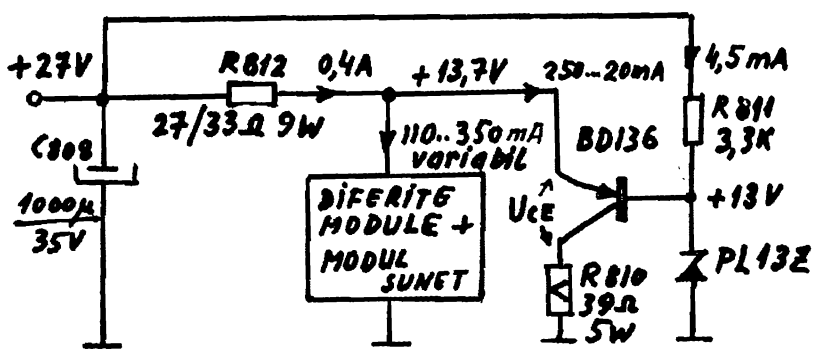


Fig. 17

De la bara de +28 V, prin R 811, se polarizează dioda zener PL 13 Z cu un curent de cca 4,5 mA, astfel că baza lui BD 136 se află la o tensiune stabilizată de 13 V. Cum tensiunea U_{BE} are valoarea de 0,7 V aproape constantă, rezultă că și tensiunea pe

emitor va fi stabilizată. Avînd un tranzistor PNP înseamnă că emitorul are 0,7 V în plus față de bază, deci 13,7 V. Tot de la bara de +27 V, prin rezistența 812, curge tot consumul modulelor alimentate la tensiunea de +13,7 V (selector, FI—VS, *sunet*, etc). Consumul modulului de sunet este variabil între 20 și 230 mA în funcție de volum și ar constitui o sarcină variabilă pentru etajul final de linii, ceea ce este de nedorit (pentru a nu influența lumina). Tranzistorul BD 136 conectat paralel cu toți consumatorii, preia diferența de curent atunci cînd etajul final de sunet consumă mai puțin. Curentul prin BD 136 variază între cca 20 mA și 250 mA. Dacă nu ar fi R 810, puterea disipată ar fi de $13{,}7 \times 0{,}25 \simeq 3{,}5$ W, adică destul de mult; cu R 810, puterea disipată de BD 136 nu depășește 1,3 W deoarece la curenți mari puterea se împarte între BD 136 și R 810.

2. FAMILIA BD 233-BD 235

Pentru a asigura o amplificare suficientă (50—70) la curenți de ordinul a 0,5—1 A, cum și o putere disipată mai mare, s-a creat o familie de tranzistoare *de tip epibază*, pentru amplificatoare dar și pentru circuite de comutație, superioară familiei BD 135 . . . . . 136.

Grupa NPN cuprinde tranzistoarele BD 233—BD 235—BD 237

Grupa PNP „ „ BD 234—BD 236—BD 238

Față de familia BD 135 . . . 140, aceste tranzistoare au următoarele avantaje:

— curentul $I_C = 2$ A față de 1 A;

— curentul $I_{CM} = 5$ A față de 1,5 A;

— tensiune de saturație: $<0{,}6$ la $I_C = 1$ A față de 1 V;

— rezistența termică joncțiune-capsulă: 5°C/W față de 10°C/W deci puterea disipată maximă 20 W față de 6 W.

Dezavantaje: f_T de 3—4 MHz față de 50—70 MHz la BD 135 . . . 140.

● Tranzistoarele acestea sînt realizate tot în capsulă SOT 32, identică cu ceea a seriei BD 135 . . . 140.

Perechile complementare: BD 233—BD 234 cu $U_{CEO} = 45$ V

BD 235—BD 236 cu $U_{CEO} = 60$ V

BD 237—BD 238 cu $U_{CEO} = 80$ V

se formează ca şi la tranzistoarele BD 135 . . . 140 la I_C=0,15 A şi U_{CE}=2 V cu condiţia ca $B_1/B_2 \leqslant 1{,}4$.

Caracterul variaţiei amplificării β cu curentul este arătat în fig. 18.

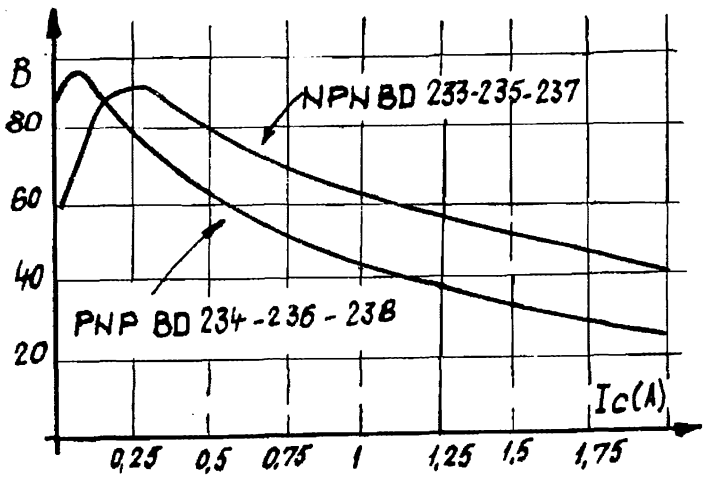


Fig. 18

De aici se vede că o împerechere avantajoasă este atunci cînd tranzistorul PNP are la I_C=0,15 A o amplificare cu 20—25% mai mare decît tranzistorul NPN, în scopul ca la curenţi peste 0,5 A, caracteristicile $\beta = f(I_C)$ să se suprapună.

3 FAMILIA BD 433 . . . 442

Ca o realizare excepţională în tehnologia epibază, trebuie prezentată o familie de tranzistoare în capsulă SOT 32 (ca şi BD 135—136) dar care au I_C=4 A; I_{CM}=7 A; $R_{thjc} \leqslant 3{,}5$°C/W şi $P_{d\infty}$=30 W:

Seria NPN cuprinde tipurile: BD 433, BD 435, BD 437, BD 439, BD 441

Seria PNP ,, ,, BD 434, BD 436, BD 438, BD 440, BD 442

Parametrii principali sînt arătați în tabelul de mai jos:

		BD433	BD435	BD437	BD439	BD441	
	$U_{CBO}=U_{CEO}$	22	32	45	60	80	V
	U_{EBO}	5	5	5	5	5	V
	I_C	4	4	4	4	4	A
	I_{CM}	7	7	7	7	7	A
β	$U_{CE}=5$ V $I_C=10$ mA	>40	>40	>30	>20	>15	
β	$U_{CE}=1$ V $I_C=0,5$ A	>85	>85	>85	>40	>40	
β	$U_{CE}=1$ V $I_C=2$ A	>50	>50	>40	>25	>15	
$I_B=0,2$ A	$I_C=2$ A $U_{CE\ sat}$	>0,5	>0,5	>0,6	>0,8	>0,8	V
$T_j=45°C$	I_{CBO} la U_{CBO}	>0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	mA

		BD434	BD436	BD438	BD440	BD442	
	$U_{CBO}=U_{CEO}$	−22	−32	−45	−60	−80	V
	U_{EBO}	− 5	− 5	− 5	− 5	− 5	V
	I_C	4	4	4	4	4	A
	I_{CM}	7	7	7	7	7	A
β	$U_{CE}=-5$ V $I_C=10$ mA	>40	>40	>30	>20	>15	
β	$U_{CE}=-1$ V $I_C=0,5$ A	>85	>95	>85	>40	>40	
β	$U_{CE}=-1$ V $I_C=2$ A	>50	>50	>40	>25	>15	
$I_B=0,2$ A	$I_C=2$ A $U_{CE\ sat}$	< 0,5	< 0,5	< 0,6	< 0,8	< 0,8	V
$T_j=45°C$	I_{CBO} la U_{CBO}	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	mA

C. TRANZISTOARE Si NPN PENTRU ETAJE FINALE VIDEO

Etajul final video are sarcina de a amplifica semnalul video complex cu amplitudinea de 3—4 V_{vv} aplicat la intrare, pînă la o amplitudine de 90—100 V_{vv}. Semnalul video serveşte apoi pentru comanda cinescopului, fie pe catod, fie pe grila de comandă (g_1) a cinescopului. Aceasta deoarece, pentru un contrast foarte bun un cinescop de 110° şi diagonala de 50—60 cm, necesită pentru comanda sa pe catod — ţinînd seama şi de dispersia caracteristicilor sale electrice — o tensiune video de 70—80 V, la care se adaugă 20—25% amplitudinea impulsurilor de stingere şi sincronizare, ajungîndu-se la 90—100 V_{vv}. Ecartul de cca 100 V, o marjă de siguranţă de 10% şi partea neliniară a caracteristicilor în zona de saturaţie, face ca tensiunea de alimentare a etajului final video să fie de cca 150—180 V şi ca urmare tranzistorul final video trebuie să reziste la o tensiune U_{CE} de 150—200 V.

Pe de altă parte, pentru a asigura o amplificare de 25—35 ori, la frecvenţa video de ordinul a 5 MHz, tranzistorul trebuie să aibă o frecvenţă de tăiere de cel puţin 10 ori mai mare ($f_T \geq 50$ MHz).

Ştiind că rezistenţa de sarcină a unui etaj final video este de 4—5 KΩ iar tensiunea de alimentare de 150—200 V, rezultă că în funcţionare tranzistorul final video este străbătut de curenţi de ordinul a 15—30 mA. Dar curentul maxim de colector I_{CM} trebuie să fie de 2—3 ori mai mare, adică 50—100 mA. Mai este necesar ca între ieşirea şi intrarea tranzistorului să existe o capacitate cît mai mică pentru a se asigura funcţionarea stabilă la frecvenţe înalte. Capacitatea de 2—5 pF, între colector şi bază, asigură stabilitatea necesară. Rezumînd, se pot considera următorii parametrii:

$$U_{CER} = 150-200 \text{ V}$$
$$I_{CM} = 50-100 \text{ mA}$$
$$f_T = 50-100 \text{ MHz}$$
$$C_{b'c} \leqslant 5 \text{ pF}$$
$$P_d = 1 \ldots 3 \text{ W}.$$

Realizarea acestor parametri (unii dintre ei contradictorii) este dificilă iar tehnologia tranzistoarelor cu structuri mici şi de tensiune mare (200 V) este relativ complicată, chiar utilizînd procedeele planar.

În fig. 19 se arată caracteristica dinamică $I_C=f(U_{CE})$ în care se vede că tensiunea de saturație (de cot) este de cca 10 V la $I_C=15$ mA și ajunge la 20 V cînd $I_C=30-35$ mA. Pe caracteristică este trasată dreapta de sarcină pentru $R_S=4$ KΩ, ceea ce corespunde schemei

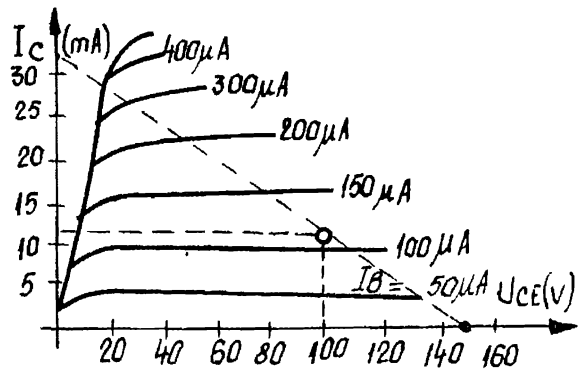


Fig. 19

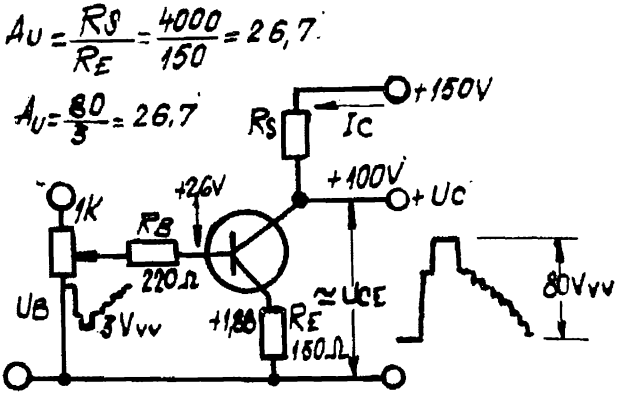


Fig. 20

electrice simplificate a unui etaj final video. Să determinăm unele mărimi ale acestui etaj tipic:

a) Curentul maxim de colector este $I_C=\frac{U_1-U_{cot}}{R_s}=\frac{150-20}{4\,K\Omega}=$ $=32$ mA.

b) La curentul $I_C = 12{,}5$ mA, tensiunea pe colector va fi:

$$U_C = U_A - I_C \cdot R_S = 150 \text{ V} - 12{,}5 \text{ mA} \cdot 4 \text{ K}\Omega = 150 - 50 = 100 \text{ V}.$$

c) La curentul $I_C = 12{,}5$ mA, tensiunea de emitor va fi:

$$U_E = I_C \cdot R_E = 12{,}5 \text{ mA} \cdot 0{,}15 \text{ K}\Omega = 1{,}88 \text{ V}.$$

d) Tensiunea pe bază va fi cu cca 0,7 V mai mare decît pe emitor:

$$U_B = U_E + U_{BE} = 1{,}88 + 0{,}7 \cong 2{,}6 \text{ V}.$$

Fără semnal video, curentul de lucru al etajului este maxim de cca 20—25 mA, stabilit prin polarizarea inițială, iar tensiunea de colector este mică, totuși peste U_{cot}, deci > 25 V. Cînd semnalul video complex negativ aplicat pe bază crește, curentul de lucru I_C va scade deoarece tranzistorul NPN, se deschide cînd tensiunea pe bază este pozitivă și se închide cînd semnalul este negativ. Scăzînd I_C, scade căderea de tensiune pe R_S și ca urmare U_C crește. Se obține astfel pe colector un semnal video complex de polaritate schimbată al cărui amplitudine este maximă (vîrf la vîrf) atunci cînd SVC pe bază este maxim. La semnalul video maxim, curentul tranzistorului final este minim, de ordinul a 10 mA iar tensiunea continuă a colectorului este de cca 2/3 din tensiunea de alimentare.

e) Puterea disipată pe tranzistor este dată de produsul $I_C \cdot U_{CE}$ și este maximă în absența semnalului și la tensiunea $0{,}5\ U_A = 0{,}5 \cdot 150 = 75$ V la care curentul I_C este de 18,8 mA:

$$P_{d\ max} = U_{CE} \cdot I_C = 75 \cdot 0{,}0187 = 1{,}4 \text{ W}$$

adică o putere însemnată pentru un tranzistor relativ mic (capsulă T039)

Tipuri de tranzistoare finale video

În cursul a 10 ani de perfecționare s-au dezvoltat 3 familii de tranzistoare finale video:

BF 177 —BF 178 —BF 179 cu U_{CEO} 100 —160 —225 V
$I_{CM} = 50$ mA $P_{d\infty} = 1{,}7$ W
BF 257 —BF 258 —BF 259 cu U_{CEO} 160 —250 —300 V
$I_{CM} = 100$ mA $P_{d\infty} = 3{,}5$ W
BF 457 —BF 458 —BF 459 cu U_{CEO} 160 —250 —300 V
$I_{CM} = 200$ mA $P_{d\infty} = 8$ W.

Primele două familii sînt în capsulă TO 39 şi seamănă între ele, diferenţa este doar la curentul maxim de colector şi la capacitatea de reacţie. Familia BF 457-8-9 este în capsulă SOT 32 identică cu familia BD 135-136 şi diferă de BF 257-8-9 prin curentul maxim admis şi puterea disipată. Dealtfel cele trei familii se deosebesc esenţial prin puterea disipată, dată mai jos în diferite condiţii de răcire şi la temperaturi obişnuite de exploatare.

BF 177-8-9	BF 257-8-9	BF 457-8-9	modul de răcire
1,7 W	2,1 W	2,8 W	cu radiator de 18 cm² (30°C/W)
1,2 W	1,35 W	1,5 W	cu radiator de 8 cm² (60°C/W)
0,6 W	0,7 W	1 W	fără radiator, la t_a=45°C
0,45 W	0,55 W	0,75 W	fără radiator, la t_a=70°C

După cum se vede, fără radiator tranzistoarele video pot disipa doar 0,5—0,8 W, joncţiunea încălzindu-se cu cca 100°C peste temperatura mediului ambiant.

Cu un mic radiator de cca 5 cm² strîns direct pe capsulă, tranzistorul video poate disipa 0,8—1 W. Aceasta este cazul de utilizare în TV portabil Sport unde Pd $\simeq$ 0,8 W. Pentru o mai bună răcire (pentru ca temperatura joncţiunii să nu treacă de 125°C) radiatorul trebuie să fie mai mare. Practic, puterea disipată maximă a unui tranzistor final video este cea din rîndul 1 al tabelului: 1,7 W la BF 178; 2,1 W la BF 258 şi cca 2,8 W la BF 458, asigurîndu-se integritatea tranzistorului.

● Tranzistoarele BF 257-8-9 şi BF 457-8-9 se utilizează şi în alte etaje în TV, ca de exemplu în postul de preamplificator-defazor de linii pentru B.O. al TV cu tranzistorul final BU 205 (TV cu CI), sau în stabilizatoare de tensiune. De exemplu în etajul defazor de linii lucrează tranzistorul BF 258, ca în fig. 21, într-un amplificator de impulsuri cu sarcină inductivă constituită din transformatorul defazor cu raportul 25/1. Pe bază, tranzistorul

este comandat cu impulsuri dreptunghiulare de 28 μs pozitiv şi 36 μs pauză. În colector se obţine o tensiune cu acelaşi caracter dar de polaritate inversată şi anume 28 μs pauză şi 36 μs pozitiv. Tensiunea din secundarul transformatorului defazor va bloca timp de 28 μs tranzistorul final BU 205 şi îl va aduce în conducţie timp de 36 μs.

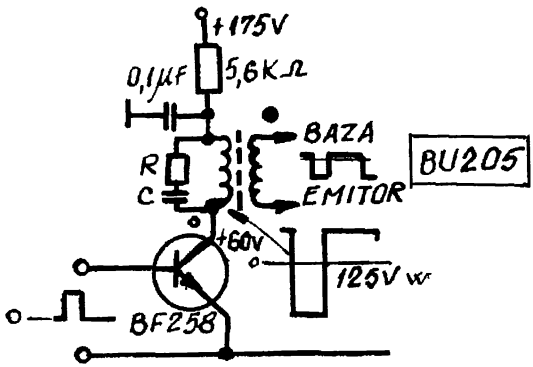


Fig. 21

Curentul mediu prin BF 258 este de 20 mA, iar tensiunea continuă pe colector de +60 V. Ca urmare, puterea disipată este de 1,2 W, tranzistorul necesitînd un radiator de 6—8 cm², pentru a lucra „la rece" adică cu joncţiunea avînd sub 100°C.

În TV color, în amplificatoarele finale de culoare roşu (R), verde (V) şi albastru (A), se vor utiliza tranzistoare BF 258-9 şi BF 458-9.

Tranzistoare video străine

Tipuri europene mai vechi şi tipuri americane şi japoneze de mai largă circulaţie, ce pot fi înlocuite cu tipurile standardizate BF 178-179-257-258-259-457-458-459 sînt enumerate mai jos:

BF 108 (SESCOSEM)
BF 109 (VALVO)
BF 110 (TELEFUNKEN)
BF 111 (SIEMENS)
BF 114 (SIEMENS)
BF 117 (INTERMETALL)
BF 118 (INTERMETALL)
BF 119 (INTERMETALL)
BF 137 (ITT)
BF 140 (SESCOSEM)
BF 156 (SGS)
BF 157 (SGS)
BF 174 (SGS)
BF 186 (PHILIPS)

BF 292 (SGS)
BF 294 (SGS)
BF 297 (TEXAS)
BF 298 (TEXAS)
BF 299 (TEXAS)
BF 305 (ATES)
BF 335 (PHILIPS, VALVO)
BF 336 „ „
BF 337 „ „
BF 411 (TELEFUNKEN)
BF 412 „
BF 413 „
BF 456 (TEXAS)
2 SC 58 ((MATSUSHITA)
2 SC 70 (TOSHIBA)
2 SC 154 (HITACHI)
2 SC 470 (SONY)
2 SC 727 (FUJITSU)
2 SC 728 (FUJITSU)
2 SC 1012 (MATSUSHITA)
2 SC 1033 „
2 SC 1056 (SONY)
2 SC 1059 „
2 SC 1062 (NIPPON)
2 SC 1088 (MATSUSHITA)
2 SC 1089 „
2 SC 1124 (SONY)
2 SC 1127 „
2 SC 1168 (TOSHIBA)
2 SC 1235 (SANYO)
2 SC 1279 (NIPPON)
2 SC 1447 (TOSHIBA)
2 SC 1505, 1506, 1507
MJ 420, MJ 421
MJ 3201, MJ 3202
MJE 340, MJE 341
MJE 344, MJE 3738
MJE 3739 . . . (MOTOROLA)
PN 5964, PN 5965
SE 7001, SE 7002
SE 7015, SE 7016
SE 7017, SE 7055
SE 7056 . . . (FAIRCHILD)

D. TRANZISTOARE Si DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Pentru toate etajele care amplifică semnale relativ mici, cu frecvența începînd de la 0,15 MHz şi pînă la 900 MHz, s-au dezvoltat tranzistoare de înaltă frecvență cu siliciu, tranzistoare ce se fabrică în tehnologia planară şi planar-epitaxială.

Tranzistoarele de înaltă frecvență cu germaniu se fabrică în tehnologia mesa care permite obținerea unor tranzistoare cu proprietăți excepționale.

Tranzistoarele cu siliciu, pentru înaltă frecvență, sînt prezentate sinoptic în *tabela A* ce urmează acestui text şi care cuprinde tipurile fabricate şi utilizate în R.S.R.

Principalele etaje de înaltă frecvență din radioelectronica de larg consum, în care se folosesc tranzistoarele de I.F., sînt enumerate mai jos, cu frecvențele de lucru:

1 —amplificator de radiofrecvență pentru UL, UM, US . . . f=0,15—20 MHz

2—oscilator pentru UL, UM, US . . . . . f=0,6—21 MHz

3—mixer autooscilant pentru UL, UM, US . . . . . f=0,6—21 MHz

4—amplificator de frecvență intermediară MA(AFI—MA) . . . f=455 KHz

5—amplificator de frecvență intermediară MF(AFI—MF) . . . f=10,7 MHz

6—amplificator de frecvență intermediară sunet TV(AFI—S) . f=6,5 MHz

7—amplificator de radiofrecvență MF(UUS)(RF—UUS) . . . . f=64—108 MHz

8—oscilator (mixer) autooscilant de MF(UUS) . . . . . f=75—120 MHz

9—amplificator de frecvență intermediară video-sunet TV. . . f=35 MHz

10—amplificator de RF pentru selectoare FIF(RF—FIF) . . . f=50—230 MHz

11—oscilator în selectoare FIF(osc. FIF) . . . . . f=87—262 MHz

12—mixer în selectoare FIF(mix. FIF) . . . . . f=50—260 MHz

13—amplificator de RF în UIF(RF—UIF) . . . . . f=470—860 MHz

14—mixer autooscilant în selectoare UIF(mix.UIF) . . . . . f=500—900 MHz

15—amplificatoare de antenă radio (UL. UM, US, UUS) . . . f=0,15—108 MHz

16—amplificatoare de antenă FIF(AA—FIF) . . . . . f=50—230 MHz

17—amplificatoare de antenă UIF(AA—UIF) . . . . . f=470—860 MHz

18—convertoare de canal UIF/FIF (CA—UIF/FIF) . . . . . f=50—900 MHz.

Tranzistoarele de înaltă frecvență se folosesc și în alte multe etaje din aparatura profesională de radiocomunicații.

În funcție de domeniul de utilizare, tranzistorului i se cer anumite caracteristici și performanțe specifice, în așa fel încît pentru etajul respectiv să nu se folosească tranzistoare nepotrivite. De aceea s-au creat *familii de tranzistoare*, distincte, din care rezultă de obicei prin sortare, după criterii bine stabilite, diferite *tipuri*.

Vom analiza pe rînd familiile de tranzistoare după domeniul de utilizare. Întrucît un tranzistor este în general utilizabil în mai multe feluri de etaje, rezultă doar cîteva familii cu proprietăți specifice, anume așa cum apar în tabela sinoptică *A*.

Tabelele A și B nu cuprind, bineînțeles, toate tranzistoarele de înaltă frecvență care se fabrică actualmente în lume, ci acele tranzistoare care sînt fabricate în țara noastră, acelea care se utilizează în produsele românești, precum și cele mai cunoscute tipuri pe plan european.

1. TRANZISTOARE UNIVERSALE DE RF ȘI FI-MA-MF

Etajele de înaltă frecvență din radioreceptoare MA și MA/MF precum și etajele de AFI-Sunet din televizoare, adică *primele 8 tipuri de etaje enumerate, pot fi realizate în condiții de înaltă calitate cu o singură familie de tranzistoare NPN: BF 214—BF 215.*

Caracteristica acestei familii sînt următoarele, date în ordinea importanței:

a) *capacitatea de reacție* $C_{12e}=0,5-1pF$.

b) *frecvența de tăiere* $f_T=200-300$ *MHz.*

c) tensiunea maximă $U_{CE}(U_{CB})=20-25$ V.

d) curentul maxim de colector $I_{C\ max}=15-30$ mA.

e) puterea disipată $P_{d\ max}=120-200$ mW.

Practic orice tranzistor NPN cu siliciu care asigură parametrii de mai sus, dar în special primii 2; C_{12e} *și* f_T, *poate fi utilizat în cele 8 tipuri de etaje enumerate, fără modificarea polarizării, sau a acordului circuitelor, adică prin simpla înlocuire a tranzistorului.*

Parametrii etajului respectiv nu se vor modifica esențial; pot apărea mici diferențe de amplificare, amplificare de conversie de ordinul a $\pm 2-3$ dB sau ușoare modificări de caracteristici de selectivitate în etajele de FI datorită diferențelor mici ce totuși există de la tip la tip în ceea ce privește parametrii *y*.

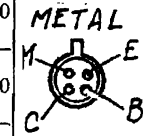
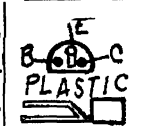
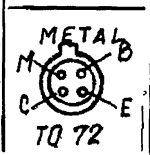
● *Tranzistoarele BF 214 și BF 215* produse de IPRS, rezultă din aceiași fabricație. Prin sortare se face departajarea după amplificarea de curent B:

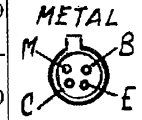
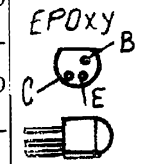
BF 214 are B=150 (tipic) cu dispersie între 90 și 330.

BF 215 are B= 70 (tipic) cu dispersie între 40 și 165.

TABELA A

TRANZISTOARE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ CU SILICIU
P_D = 130÷250 mW.

Domeniu de utilizare		Tip	Pol	f_T MHz	C_{12e} (pF)	A_p (dB)	F (dB)	f (MHz)	β (static)	P_d (mW) la ta=45°C	U_{CEO} (V)	$I_{C\ max}$ (mA)	Capsula
UIF	RF	BF 180	NPN	700	0,25	11	7	800	50(>15)	130	20	20	
	MixO	BF 181	NPN	600	0,30	15	5	500	40(>15)	130	20	20	
FIF	RF	BF 200	NPN	500	0,35	17	3	200	30(>15)	130	20	20	
FI—VS(RAA)		BF 198	NPN	350	0,20	36	3	35	80(>27)	350	30	25	
FI—VS(FIX)		BF 199	NPN	550	0,30	38	6	35	120(>40)	350	25	25	
FI—VS(RAA)		BF 167	NPN	350	0,15	36	3	35	80(>35)	130	30	25	
FI—VS(FIX)		BF 173	NPN	550	0,23	38	7	35	120(>40)	200	25	25	

FI MA/MF	BF 214	NPN	260	0,6	34	1,8	10,7	150(90—330)	130	30	30	
RF UUS/LMS	BF 215	NPN	220	0,6	20	3,5	100	70(40—165)	130	30	30	
FI/MA—MF RF—IMS	BF 254	NPN	260	0,85	33	2,5	10,7	115(70—250)	175	20	30	
RF, osc, MIX UUS	BF 255	NPN	200	0,85	20	3,5	100	67(35—150)	175	20	30	
FI MA/MF	BF 233	NPN	275	0,75	33	2,5	10,7	40 . . . 350	160	20	50	
RF—LMS	BF 234	NPN	250	0,75	33	2,5	10,7	90 . . . 330	160	30	50	
RF, osc, Mix, UUS	BF 235	NPN	220	0,75	20	4	100	30 . . . 150	160	30	50	
RF—UUS	BF 314	NPN	580	0,27	22	2	100	20 . . . 50	225	30	25	
UNIV. FI/RF RAA	BF 240	NPN	430	0,27	36	2,5	10,7	67 . . . 220	250	40	25	
UNIV. FI MA/MF	BF 241	NPN	400	0,27	35	2,5	10,7	36 . . . 125	250	40	25	

Amplificarea de curent B influențează și alți parametri:

— frecvența de tăiere f_T: la B mare, f_T mare
la B mai mic, f_T ceva mai mic

ca urmare BF 214 are f_T mai mare decît BF 215.

— rezistența de intrare r_{11}: B mare, I_B mic, r_{11} mare
B mai mic, I_B mai mare, r_{11} ceva mai mic

deci BF 214 are rezistență de intrare mai mare decît BF 215.

— zgomotul propriu F: B mic→F mic; B mare, F mare. ca urmare, BF 215 are zgomot mai mic decît BF 214.

Parametrii: f_T, r_{11} și F nu depind însă liniar de B; mai degrabă mărimea B dă o informație pentru compararea a două tranzistoare de același tip.

Bineînțeles că tranzistoarele din aceeași familie mai sînt sortate și după factorul de zgomot F, ca și după amplificarea de putere în aparate speciale de triere.

● Structuri de tranzistoare BF 214-215, încapsulate în plastic permit fabricarea unor tranzistoare mai economice, cu parametrii aproape identici. Rezultă astfel tranzistoarele *BF 254 și BF 255*, la care doar capacitatea de reacție este ceva mai mare: 0,85 pF față de 0,6 pF și aceasta din cauza capsulei de plastic.

● Structuri de BF 214-215 încapsulate în rășină epoxi permit obținerea tranzistoarelor *BF 233—BF 234—BF 235.* În această grupă:

BF 234 este egal cu BF 214

BF 235 este egal cu BF 215.

iar tipul BF 233 este, ca să zicem așa, „restul" de la sortare, cu o dispersie mai largă de B (40 . . . 350), foarte bun în oricare din cele 8 tipuri de etaje enumerate.

● Din tranzistoarele străine echivalente cu BF 214—BF 215 se pot reține *tranzistoarele BF 184—BF 185* fabricate de Philips, Valvo, Mullard, Siemens, încapsulate în metal, precum și *tipurile BF 194—BF 195* încapsulate în plastic (capsulă fit-lock prismatică).

Se poate considera că tranzistoarele NPN de mai jos sînt direct echivalente:

BF 214 = BF 234 = BF 254 = BF 184 = BF 194 (4 este caracteristic)
BF 215 = BF 235 = BF 255 = BF 185 = BF 195 (5 este caracteristic).

● Tranzistoarele universale de mai sus sînt utilizate şi ca oscilatoare în selectoarele FIF, unde frecvenţa de oscilaţie maximă (canalul 12) este de 260 MHz. Se preferă tipul BF 214 (are f_T mai mare) care poate oscila dealtfel pînă la frecvenţe de ordinul a 500 MHz şi aceasta pentru că frecvenţa maximă de oscilaţie este mult mai mare decît f_T:

$$f_{max\ osc} = 2 \ldots 3 f_T.$$

● Pentru etajele de RF-UUS, unde problema sensibilităţii este direct legată de zgomotul propriu al tranzistorului, s-a elaborat un tranzistor planar-epitaxial mai perfecţionat, cu capacitate de reacţie mai mică şi amplificare mai mare la 100 MHz:

BF 314 NPN (Siemens) $F = 2$ dB(100 MHz) $f_T \leqslant 550$ MHz $C_{12B} \leqslant 0{,}13$ pF.

● O familie nouă de tranzistoare universale de RF/FI, cu capacitate de reacţie mică (0,33 pF) şi cu f_T mare (400—450 MHz) este *BF 240—BF 241* care pot fi utilizate pînă în gama de UUS, unde în condiţii de adaptare la zgomot asigură un zgomot foarte mic: $F = 1{,}6 \div 2$ dB la 100 MHz, $U_{CB} = 10$ V, $I_C = 1$ mA şi admitanţa la intrare $Y_{G\ opt} = 6{,}6$ ms-j3,3 ms.

● Tipul BF 240 avînd B mare este destinat etajelor de FI reglate prin RAA iar tipul BF 241 etajelor nereglate de FI cum şi etajelor de RF L, M, S.

Acelaşi lucru trebuie menţionat şi pentru grupul BF 214/BF 215:
B mare → BF 214/234/254/184/194 pentru etaje reglate prin RAA
B mic → BF 215/235/255/185/195 pentru etaje nereglate de RAA.

● *Este cunoscut că în etajele de FI MA şi MF reglajul RAA se face prin reducerea curentului de lucru al etajului, ceea ce provoacă reducerea pantei şi ca urmare reducerea liniară a amplificării.*

La tranzistoarele cu B mare, reglajul prin RAA este eficace, deoarece pentru aceiaşi reducere a tensiunii pe bază, scăderea amplificării de tensiune a etajului este mai mare.

În tabelul C se dau parametrii Y pentru cîteva tranzistoare din familia universală de RF—FI:

Panta de amplificare Y_{21} sau S exprimată în mS adică mA/V este aproape proporţională cu curentul de colector, pînă la 3—5 mA. Astfel dacă la 1 mA S = 35 mA/V, la 2 mA S = 65 mA/V iar la 3 mA S = 90 mA/V.

Totodată la creşterea curentului, rezistenţa de intrare r_{11} şi rezistenţa de ieşire r_{22} scad pronunţat (invers proporţional cu creşterea I_C). Amplificarea de putere a tranzistoarelor din familia

Parametrul		U=10 V;		I_C=1 mA		f=10,7 KHz		Valoarea tipică (medie)
		BF 214	BF 215	BF 194 BF 254	BF 195 BF 255	BF 240	BF 241	
r_{11e}	KΩ	3,5	2,2	3	2,1	2	1,5	2 KΩ
C_{11e}	pF	20	17	23	27	16	16	20 pF
Y_{12e}	μs	1,7	1,7	2,8	2,6	1	1	C_{12e}=0,6 pF
φ_{12e}	°	90	90	90	90	90	90	90°
Y_{21e}	mS	36	36	36	36	36	36	36 mA/V
φ_{21e}	°	0	0	0	0	0	0	0°
r_{22e}	KΩ	300	450	170	370	350	500	300 KΩ
C_{22e}	pF	2	1,7	1,6	1,6	1,2	1,4	1,8 pF

Parametrul		U_{CE}=10 V;		I_C=1 mA		f=10,7 HMz		Valoarea tipică
		BE 214	BF 215	BF 254	BE 255	BE 240	BF 241	
r_{11e}	KΩ	2,8	2	2,2	1,8	1,4	1,2	1,5 KΩ
C_{11e}	pF	20	17	23	27	16	16	20 pF
Y_{12e}	μs	35	35	60	60	20	20	$C_{12e}\simeq$0,6 pF
φ_{12e}	°	90	90	90	90	90	90	90°
Y_{21e}	mS	35	35	35	35	35	35	35 mA/V
φ_{21e}	°	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5°
r_{22e}	KΩ	130	220	170	225	320	430	200 KΩ
C_{22e}	pF	2	1,7	1,6	1,6	1,2	1,4	1,8 pF

Parametrul		U_{CE}=10 V;		I_C=1 mA		f=100 MHz		Valoare tipică
		BF 215	BF 185	BF 255	BF 240	BF 241	BF 314	
r_{11e}	Ω	150	160	135	450	500	360	220 Ω
r_{11b}	Ω	33	33	33	30	30	28	30 Ω
C_{12e}	pF	0,6	0,6	0,9	0,3	0,3	0,24	0,6 pF
C_{12b}	pF	0,35	0,35	0,7	0,18	0,18	0,12	0,35 pF
Y_{21eb}	mS	32	33	31	34	34	36	33 mA/V
r_{22eb}	KΩ	12	80	80	17	20	100	50 KΩ

considerată la frecvențe mari, apropiate de f_T este mai bună în schema cu baza la masă (BM) decît în schema cu EM (vezi fig. 22).

Astfel în timp ce la frecvențe sub 0,4 f_T amplificarea în schema EM este mult mai mare (25—30 dB), la frecvențe mai mari de 0,5 f_T,

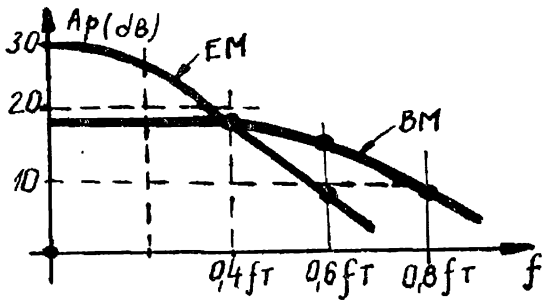


Fig. 22

amplificarea în schema EM scade la sub 12 dB, în timp ce schema BM mai asigură o amplificare de 8—10 dB la frecvențe apropiate de f_T.

Listă de echivalențe

Pentru găsirea unor eventuali înlocuitori, se enumeră mai jos tipuri de tranzistoare NPN universale de RF—FI, echivalente cu tranzistoarele BF 214—BF 215—BF 233—BF 234—BF 235——BF 254—BF 255:

BF 115 (Philips)	BF 175 (SGS)	BF 229 (Telefunken)
BF 121 (ITT)	BF 176 (SGS)	BF 230 (Telefunken)
BF 125 (ITT)	BF 189 (SESCOSEM)	BF 273 (SGS—ATES)
BF 153 (SGS)	BF 216 (Thorn)	BF 274 (SGS—ATES)
BF 158 (SGS)	BF 217 (Thorn)	BF 287 (SGS—ATES)
BF 160 (SGS)	BF 218 (Thorn)	BF 288 (SGS—ATES)
BF 162 (SGS)	BF 219 (Thorn)	BF 310 (Telefunken)
BF 163 (SGS)	BF 220 (Thorn)	BF 325 (Texas)
BF 164 (SGS)	BF 226 (Thorn)	
BF 165 (SGS)	BF 228 (Telefunken)	
BF 368 (Motorola)	BF 454 (SGS—ATES)	2 SC 384 (Toshiba)
BF 369 (Motorola)	BF 455 (SGS—ATES)	2 SC 398 (Toshiba)
BF 373 (Motorola)	BF 494 (Philips)	2 SC 399 (Toshiba)
BF 384 (Texas)	BF 495 (Philips)	2 SC 535 (Hitachi)
BF 385 (Texas)	BF 523 (Texas)	2 SC 657 (Sony)
BF 394 (Motorola)	BF 594 (Texas)	2 SC 658 (Matsushita)
BF 395 (Motorola)	BF 595 (Texas)	2 SC 738 (Matsushita)

2. TRANZISTOARE PENTRU FRECVENȚĂ INTERMEDIARĂ VIDEO-SUNET TV

Tranzistoarele BF 167 și BF 173 sînt larg răspîndite și bine cunoscute pe plan mondial de cca 10 ani.

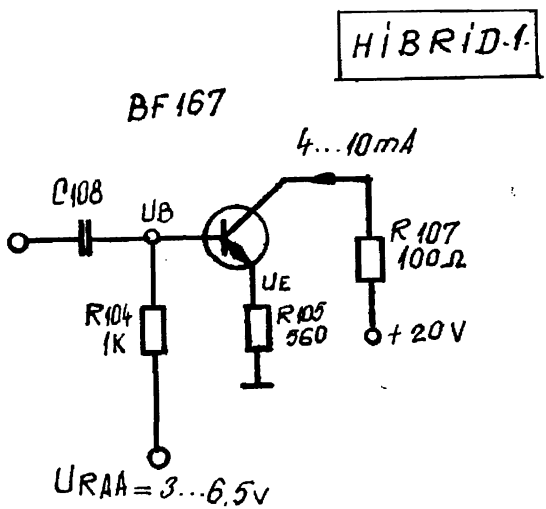
În ultimii ani, tipurile BF 167/173 cu capsulă metalică au fost înlocuite cu tipurile BF 198 și BF 199 cu capsulă de plastic, care sînt echivalente cu tipurile „mamă", astfel:

BF 198 = BF 167 pentru etajul prim reglat de RAA

BF 199 = BF 173 pentru etajele liniare de FI—VS.

Ambele tranzistoare au o capacitate de reacție C_{12e} foarte redusă, de ordinul a 0,2—0,3 pF și frecvențe de tăiere mari, de ordinul 400—600 MHz.

● La tranzistorul planar BF 167/BF 198 prin construcție și tehnologie s-a putut obține o scădere foarte pronunțată a amplifi-



Semnul de intrare	I_C (mA)	U_E (V)	U_B (V)	U_C (V)	U_{CE} (V)
FS (fără semnal)	4	2,3	3	19,6	17,3
1,5 mV	8,5	4,8	5,5	19,2	14,4
semnal maxim.	10	5,5	6,2	19,0	13,5

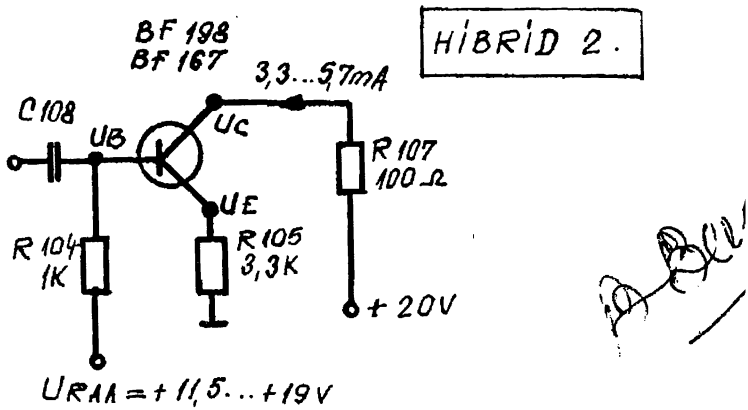
Fig. 23

cării atunci cînd curentul de colector crește de la 4—5 mA la 9—10 mA. Scăderea de amplificare poate atinge 55—60 dB (500—1000 ori), datorită degradării pantei și a frecvenței de tăiere, simultan cu variația rezistențelor de intrare și de ieșire.

Acest efect puternic de scădere a amplificării se obține mărind tensiunea pe baza tranzistorului, ceea ce forțează pe de o parte creșterea curentului I_C iar pe de altă parte scăderea tensiunii U_{CE}.

Reducerea amplificării tranzistorului BF 167 (BF 198) se datorește și creșterii curentului dar și scăderii tensiunii dintre colector și emitor. Reglajul de amplificare poate fi preponderent de curent sau preponderent de tensiune, aceasta depinzînd de schema electrică a etajului prim de FI.

Dacă se privesc schemele electrice din fig. 23 și 24, se poate distinge că în schema primului etaj de FI-VS din televizoarele



Semnalul la intrare TV	I_C (mA)	U_E (V)	U_B (V)	U_C (V)	U_{CE} (V)
FS (fără semnal)	3,3	10,8	11,5	19,7	9
1,5 mV	5	16,3	17	10,5	3,2
Semnal maxim.	5,7	18,8	19,5	19,4	0,6

Fig. 24

seriei H_1, avem un reglaj de curent al colectorului între 4 mA la semnal slab (sau fără semnal) şi cca 10 mA la semnal maxim.

La schema FI-VS al seriei H2 s-a adoptat un reglaj preponderent de tensiune: curentul variază doar cu cca 2 mA (între 3,3 şi 5,7 mA) dar tensiunea U_{CE} variază între 9 V la semnal slab şi aproape zero volţi la semnal maxim.

Tranzistorul planar-epitaxial BF 173/BF 199 are o tensiune de saturaţie foarte mică (sub 1 V) şi este anume construit pentru a asigura o mare tensiune de „excursie" deci tensiuni mari la ieşirea AFI.

Acest tranzistor are capacitatea de reacţie foarte mică (0,23 — —0,3 pF) cum şi o pantă mare (cca 130-150 mA/V la I_C=7 mA), ceea ce permite obţinerea unei amplificări deosebit de mari.

Tranzistoarele planar-epitaxiale obişnuite, prezintă o capacitate de 0,6—0,7 pF între bază şi colector, care constituie capacitatea de reacţie C_{12E}. De fapt această capacitate se compune din 2 capacităţi:

— capacitatea $C_{b'c}$ (dintre bază şi colector) a structurii tranzistorului propriuzis sau a sistemului (C_s=capacitatea sistemului);

— capacitatea de tip MOS datorată foliei metalizate de contactare a bazei (C_c=capacitatea contactării) care este comparabilă sau chiar de 2—3 ori mai mare decît C_s.

Deci capacitatea de reacţie C_{12E} se compune din 2 elemente:

$$C_{12E}=C_s+C_c.$$

Reducerea influenţei C_c (de contact) nu este uşoară, dar este posibilă în tehnologia planară, astfel încît să rămînă doar capacitatea propriuzisă, care poate fi redusă din construcţia tranzistorului la cca 0,15—0,2 pF.

Reducerea capacităţii de reacţie se realizează cu un ecran integrat (realizat în cursul producerii tranzistorului) între insula de folie metalică care constituie contactul bazei şi zona colectorului. Acest ecran este conectat la emitor astfel că el anulează practic capacitatea insulei de contactare a bazei faţă de colector. Ecranul este de fapt un strat subţire de tip P obţinut prin difuzie în volumul de material semiconductor de tip N al colectorului. Prezenţa

electrodului de ecranare „sparge" capacitatea supărătoare de tip MOS (Metal-Oxid-Semiconductor) în două capacităţi: una între bază şi emitor, iar alta între colector şi emitor, reducînd aproape la zero capacitatea parazită dintre colector şi folia metalică de

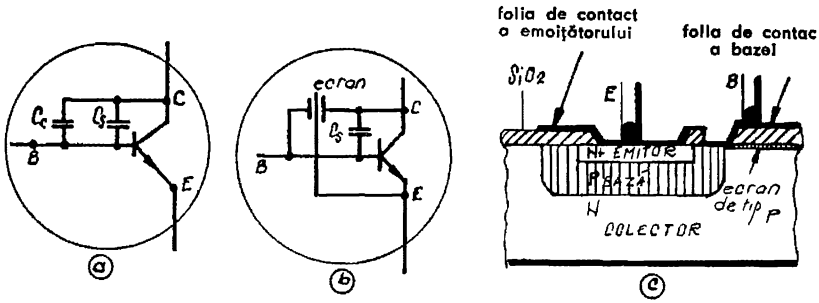


Fig. 25

contact a bazei. În fig. 25 se arată schema electrică a capacităţilor amintite:

a) tranzistor planar obişnuit, fără ecran, avînd C_s şi C_c.

b) tranzistor cu ecran integrat (integrated screen); ecranul este legat electric la emitor şi anulează capacitatea Cc dintre colector şi bază.

c) secţiune prin tranzistor, unde se vede stratul ecran de tip P sub folia metalizată de contactare a bazei şi care în afara figurii este legată electric la folia de contact a emitorului.

● Întrucît ecranul integrat este un strat de tip P realizat în materialul de tip N al colectorului, *acest ecran poate fi privit şi ca o joncţiune PN, deci o diodă conectată între emitor şi colector.* Reprezentarea din fig. 26, chiar dacă nu este exactă, ajută la explicarea comportării aparent curioase a tranzistoarelor cu ecran integrat BF 167/BF 198 şi BF 173/BF 199, la încercarea cu ohmmetrul. Astfel aplicînd ohmetrul cu plusul pe E şi minusul pe C, un tranzistor obişnuit va indica ∞ (blocat) în timp ce la un tranzistor cu ecran intern, ohmmetrul va indica o rezistenţă de cca 100 Ω, cît este de fapt rezistenţa stratului ecran de tip P.

● Tranzistoarele în plastic BF 198 şi BF 199 nu se deosebesc esenţial de tranzistoarele cu capsulă metalică BF 167 şi BF 173. Capacitatea de reacţie este ceva mai mare, astfel:

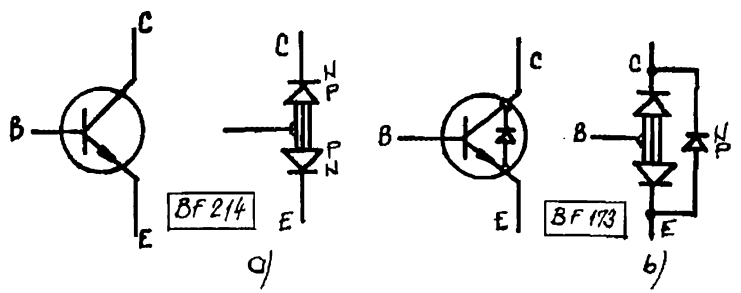
BF 167 : C_{12E}=0,15 pF	BF 173 : C_{12e}=0,23 pF
BF 198 : C_{12E}=0,20 pF	BF 199 : C_{12e}=0,30 pF.

Puterea disipată a tranzistoarelor în plastic este mai mare:

BF 167 : 130 mW	BF 173 : 260 mW
BF 198 : 280 mW	BF 199 : 280 mW.

Panta este mai mare la tranzistoarele noi in plastic:

BF 167 : 95 mA/V	BF 173 : 145 mA/V
BF 198 : 105 mA/V	BF 199 : 170 mA/V.



Tranzistor NPN reprezentat ca două diode avînd „zona P comună celor două diode.	Tranzistor NPN cu ecran integrat care conţine o „diodă ecran" conectată între colector şi emitor.
Proba cu ohmmetrul:	*Proba cu ohmmetrul:*
+ pe B, — pe E : conduce	+ pe B, — pe E : conduce
+ pe E, — pe B : blocat	+ pe E, — pe B : blocat
+ pe B, — pe C : conduce	+ pe B, — pe C : conduce
+ pe C, — pe B : blocat	+ pe C, — pe B : blocat
+ pe E, — pe C : blocat	+ pe E, — pe C : CONDUCE
+ pe C, — pe E : blocat	+ pe C, — pe E : blocat

Fig. 26

● Parametrii principali *Y* ai tranzistoarelor de FI-VS sînt daţi în tabelul de mai jos:

Parametrul		BF 167	BF 198	BF 173	BF 199
		10 V, 4 mA, 35 MHz		10 V, 7 mA 35 MHz	
r_{11e}	Ω	450	310	220	220
C_{11e}	pF	45	36	45	45
C_{12e}	pF	0,15	0,20	0,23	0,30
Y_{21e}	mA/V	95(>70)	105(>80)	145(>115)	170(>130)
φ_{21e}	°	−23	−20	−22	−22
r_{22e}	KΩ	33	20	15	12
C_{22e}	pF	1,2	1,3	2,1	1,8
$A_{p\ opt}$	dB	42	42	42,5	43

După cum se vede, tranzistoarele în plastic nu mai au piciorușul de masă. Ordinea terminalelor permite înlocuirea uşoară a tranzistoarelor cu capsulă metalică.

Înlocuirea tranzistorului BF 173 prin BF 199 nu pune nici o problemă. Înlocuirea tranzistorului BF 167 prin BF 198, are un uşor efect de amortizare asupra circuitului acordat din colectorul său şi o modificare a caracteristicii de RAA; ambele efecte nu conturbă selectivitatea, stabilitatea sau calitatea imaginii.

Echivalenţe

Înlocuirea tranzistoarelor enumerate mai jos prin tipurile BF 167-198 sau BF 173-199 este posibilă în 99% din cazuri.

Nu se poate însă garanta întotdeauna înlocuirea tranzistoarelor BF 167-198 sau BF 173-199 cu tranzistoarele de mai jos:

Tranzistoare cu RAA(BF 167/198)	Tranzistoare cu I_C fix(BF 173/199)
BF 127 (ITT)	BF 123 (ITT)
BF 196 (Valvo, Philips)	BF 158 (SGS)
BF 207 (Cosem)	BF 159 (SGS)
BF 225 (Texas)	BF 168 (Telefunken)
BF 251 (SGS-ATES)	BF 197 (Valvo, Philips)
BF 329 (ATES)	BF 208 (COSEM)
BF 367 (Motorola	BF 223 (Telefunken)
BF 596 (Texas)	BF 224 (Texas)
2 SC 250 (Fuji)	BF 227 (Telefunken)
2 SC 377 (Toshiba)	BF 237 (Texas)
2 SC 563 (Matsushita)	BF 260 (ATES)
2 SC 785 (Toshiba)	BF 271 (SGS-ATES)
2 SC 928 (Sonyo)	BF 371 (Motorola)
2 SC 1187 (Nipon Electric)	2 SC 658 (Matsushita)

3. TRANZISTOARE DE FIF ŞI UIF

Pentru domeniul de frecvenţă de 200—900 MHz s-au elaborat tranzistoare speciale cu *frecvenţă de tăiere mare, capacitate de reacţie mică şi zgomot cît mai redus* la frecvenţele acestui domeniu.

Există tranzistoare PNP şi NPN cu siliciu sau germaniu destinate folosirii în selectoarele de canale FIF (50—230 MHz) şi UIF (470—860 MHz).

În ţara noastră se fabrică tranzistoare NPN de tip planar, cu siliciu şi anume *familia BF 180, BF 181* şi *BF 200*, care rezultă dintr-o singură fabricaţie, departajarea făcîndu-se prin sortare.

Caracteristica importantă a acestor tranzistoare o constituie posibilitatea reglării amplificării de putere şi tensiune prin varierea curentului de colector

La curent de 2 . . . 4 mA aceste tranzistoare au amplificarea maximă; pe măsura creşterii curentului, amplificarea tranzistorului scade, astfel că la I_C=8—10 mA, scăderea de amplificare este cu 30—35 dB (30—50 ori mai mică).

Scăderea amplificării este cu atît mai pronunţată cu cît frecvenţa este mai mare, aşa cum se arată în fig. 27/a, în care se prezintă curbele de scădere a amplificării pe măsura creşterii curentului

$A_p = f(I_C)$. Cele 3 curbe reprezintă variația amplificării la 3 frecvențe tipice 100, 200, și 600 MHz. Se vede că pentru a reduce cu 20 dB (de 10 ori) amplificarea primului etaj din selectorul de canale, la $f = 100$ MHz este necesară creșterea lui I_C pînă la 8,7 mA în

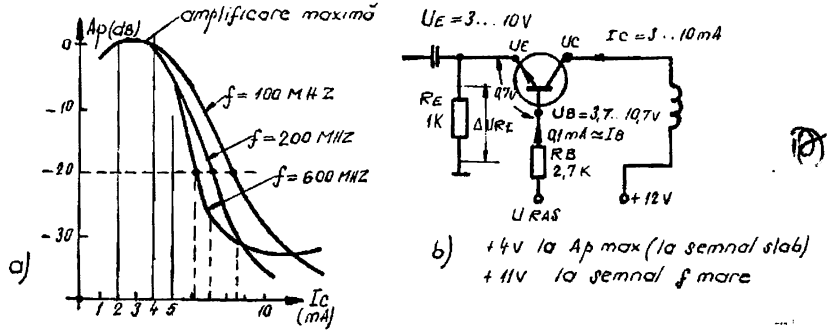


Fig. 27

timp ce cu o creștere la 7,3 mA, amplificarea scade de 10 ori la $f = 200$ MHz. În fig. 27/b se arată schema de c.c. a primului etaj din selectorul de FIF. Curentul de colector (emitor) produce o cădere de tensiune pe rezistența $R_E = 1$ KΩ, astfel că emitorul este la tensiunea de 3 V cînd $I_C \simeq I_E = 3$ mA. Tensiunea bazei este cu 0,7 V pozitivă față de emitor, deoarece este tranzistor NPN. Pe rezistența R_B de 2—3 KΩ, mai apare o cădere de tensiune de cca 0,3 V produsă de curentul bazei I_B care este în medie de 0,1 mA

$$U_E = I \cdot R_E \qquad U_{CE} = U_C - U_E$$

$$U_B = U_E + U_{BE} \qquad I_B = \frac{I_C}{B}$$

$$U_{RAA} = U_B + 0{,}3 \text{ V}$$

La semnal mic avem: $I_C = 3$ mA, $U_E = 3$V, $U_B = 3{,}7$ V, $U_{CE} = 9$ V, $U_{RAA} = +4$ V.

La semnal mare avem: $I_C = 10$ mA, $U_E = 10$ V, $U_B = 10{,}7$ V, $U_{CE} = 2$ V, $U_{RAA} = +11$ V.

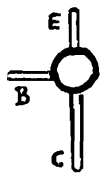
● Reglajul de amplificare se bazează pe efectul de autoaglomerare a curentului de emitor, din cauza suprafeței foarte mici a emitorului. Densitatea mare de curent în baza emitorului, pro-

TIP	POL	f_T (MHz)	LIMITE MAXIME			C_{re} (pF)	A_p (dB)	F (dB)
			U_{CB0} (V)	I_C (mA)	P_d (mW)			
AF 106	PNP	220	25	10	60	0,45	16	7
AF 109 R	PNP	400	20	10	60	0,25	16,5	4,5
AF 139	PNP	500	20	10	60	0,25	17,5	4
AF 139							15	5,2
AF 139							11	7
AF 239	PNP	650	20	15	60	0,23	21,5	3
AF 239							18	4
AF 239							14	5,2
AF 239 S	PNP	780	20	15	60	0,2	22	2,7
AF 239 S							19	3,6
AF 239 S							15	4,7
AF 239 S							14	5,8
AF 240	PNP	500	15	10	60	0,26	13	6,5
AF 267	PNP	780	20	10	60	0,4	18,5	4
AF 267							14	6
AF 267							12	6

la				Terminale	FUNCȚIA
U_{CE} (V)	I_C (mA)	MHz	R_S (KΩ)		
10	3	200	0,9	EBCM	A, Mix, Osc, FIF
10	2	200	0,9	EBCM	Ampl, RAA, FIF
10	2	200	0,9	EBCM	Amp., RAA, FIF
10	1,5	500	1,4	EBCM	Mix, osc, UIF
10	1,5	800	1,4	EBCM	Ampl, RAA, UIF
10	2	200	2,5	EBCM	Ampl, RAA, FIF
10	2	500	2	EBCM	Mix, osc, UIF
10	2	800	2	EBCM	Ampl, RAA, UIF
10	2	200	2,5	EBCM	Ampl. RAA, FIF
10	2	500	2	EBCM	Mix, osc. UIF
10	2	800	2	EBCM	Ampl, RAA, UIF
10	2	900	2	EBCM	" " "
10	2	800	2	EBCM	Mix. osc. UIF
10	2	500	2		Mix. osc. UIF
10	2	900	2		Ampl. RAA, UIF
10	2	900	0,5		Ampl. antenă UIF

TIP	POL	f_T (MHz)	LIMITE MAXIME			C_{re} (pF)	A_p (dB)	F (dB)
			U_{CE_0} (V)	I_C (mA)	P_d (mW)			
AF 279	PNP	780	15	10	60	0,42	16	5
AF 280	PNP	550	15	10	60	0,42	14	7
AF 367	PNP	800	20	10	60	0,4	12	6
AF 369	PNP	550	15	10	60	0,4	10,5	6,5
AF 379	PNP	1 250	20	20	100	—	18	5
BF 272 A	PNP	850	40	20	200	0,3	20	2,5
BF 272 A	PNP						19	3
BF 272 A	PNP						15	3,5
BF 316 A	PNP	600	40	20	200	0,3	12	5
BF 509	PNP	700	40	20	200	0,5	18	1,8
BF 506	PNP	400	40	20	200	0,5	17	2,5
BF 479	PNP	1 400	35	20	200	—	18	3,5
BF 679	PNP	1 000	35	15	200	0,3	15	3,5
BF 680	PNP	650	35	15	200	0,3	14	5,5

TABELA B (continuare)

la				Terminale	FUNCȚIA
U_{CE} (V)	I_C (mA)	MHz	R_S (KΩ)		
10	2	800	2		Ampl. RAA, UIF
10	2	800	2		Mix. osc. UIF
10	2	900	0,5		Ampl. RAA, UIF
10	2	900	0,5		Mix. osc. UIF
8	8	800	2	EBCM	AMOL. LIN. FIF/UIF
10	3	200	2	EBCM	Ampl. RAA, FIF
10	3	500	2	EBCM	Ampl. RAA, UIF
10	3	800	2	EBCM	Ampl. RAA, UIF
10	3	800	2	EBCM	Mix. osc. UIF
10	3	200	2	EBC	Ampl. RAA, FIF
10	3	200	2	EBC	Mix. osc. FIF
10	10	800	2		AMPL. LIN. FIF/UIF
10	3	800	2		AMPL. RAA, UIF
10	3	800	2		Mix. osc. UIF

voacă scăderea frecvenței de tăiere de cca 10 ori cum și reducerea puternică a rezistenței de ieșire r_{22}. Ca și la tranzistorul BF 167, reducerea tensiunii U_{CE} contribuie de asemenea la reducerea amplificării; reducerea tensiunii între colector și emitor are loc pe seama creșterii potențialului emitorului de la 3 V la cca 10 V în timpul procesului de reglare.

● Departajarea celor 3 tranzistoare se face după criteriul amplificării de putere la frecvența de 800 MHz. Cele mai bune tranzistoare ieșite, se triază apoi după factorul de zgomot F, rezultînd tipul BF 180 care urmează a fi folosit ca amplificator de RF în selectoarele de UIF. Cele ale căror zgomot este ceva mai mare, devin fie tranzistoare BF 181 destinate etajului mixer/autooscilant al selectorului de UIF, fie tranzistoare BF 213 pentu același post.

Tipul BF 200 este „mezinul" familiei, putînd lucra foarte bine la frecvențele FIF (max 230 MHz adică de cca 3 ori mai puțin decît f_T).

Parametrii de comparație a acestor 3 tranzistoare sînt date în tabelul A (de la pagina 64). Panta, care este parametrul cel mai interesant la frecvențe mari, este dat în tabelul de mai jos:

	(MHz)	$\lvert Y_{21b}\rvert$ mA/V		
		BF 180	BF 181	BF 200
Punctul de funcționare U_{CB}=10 V I_C = 2 mA	50	60	58	56
	200	55	54	52
	500	40	37	33
	800	30	27	24

Alte tranzistoare de înaltă frecvență (FIF-UIF)

Pentru ca tehnicienii să poată avea o vedere de ansamblu asupra celor mai bune tranzistoare europene pentru UIF și FIF, am întocmit tabela B, în care sînt prezentate cu parametrii comparabili, o serie mare de tipuri. Este vorba despre tranzistoare PNP cu germaniu și tranzistoare PNP și NPN cu siliciu. Performanțele sînt specificate pentru frecvența maximă și condițiile optime de utilizare.

Dintre tranzistoarele de FIF şi UIF străine (din aparatura japoneză TV) pot fi enumerate următoarele:

Înlocuibile prin AF 106:

2 SA 54, 2 SA 239, 2 SA 240
2 SA 242, 2 SA 243, 2 SA 246
2 SA 247, 2 SA 260, 2 SA 261
2 SA 262, 2 SA 263, 2 SA 264,
2 SA 265, 2 SA 292, 2 SA 293
2 SA 294, 2 SA 343, 2 SA 344
2 SA 345, 2 SA 346, 2 SA 347
2 SA 348, 2 SA 362, 2 SA 377,
2 SA 378, 2 SA 401, 2 SA 403
2 SA 434, 2 SA 435, 2 SA 436
2 SA 437, 2 SA 438, 2 SA 463
2 SA 476, 2 SA 506, 2 SA 507
2 SA 508, 2 SA 525.

Înlocuibile prin AF 139:

2 SA 161, 2 SA 162, 2 SA 163
2 SA 164, 2 SA 165, 2 SA 166
2 SA 229, 2 SA 230, 2 SA 238
2 SA 244, 2 SA 245, 2 SA 253
2 SA 288, 2 SA 289, 2 SA 290,
2 SA 308, 2 SA 309, 2 SA 310
2 SA 419, 2 SA 420, 2 SA 421
2 SA 422, 2 SA 430, 2 SA 431
2 SA 432, 2 SA 440, 2 SA 447.
2 SA 454, 2 SA 455, 2 SA 456

E. TRANZISTOARE Si DE PUTERE PENTRU AUDIOFRECVENŢĂ ŞI BALEIAJ

Într-un buletin tehnic anterior s-a prezentat tehnologia tranzistoarelor de putere cu siliciu. Cele patru familii tehnologice de tranzistoare — fiecare cu avantajele şi dezavantajele sale — precum şi cele mai reprezentative tipuri sînt date în acest capitol.

1. TRANZISTOARE SIMPLU DIFUZATE (HOMETAXIALE)

Caracteristicile principale ale acestor tranzistoare:

U_{CEO}=40 ... 70 V (foarte rar 100—150 V)
I_C =10 ... 30 A (uzual 10—15 A)
P_d =75 ...150 W
F_T = 0,8 ... 1,5 MHZ (uzual 1 MHz)

Tranzistoarele simplu difuzate *sînt toate de tip NPN* şi sînt caracterizate de o excepţională robusteţe, atît sub aspectul puterii disipate cît mai ales ca rezistenţă la străpungere (second breakdown).

Principalele tipuri de largă circulaţie: BD 130; BD 141; BD 142; BDX10, 11, 12, 13, 23, 24, 40, 41, 50, 51, 60. *2 N 3055*(BDX10);

2 N 3441; 2 N 3442; 2N 3371; 2N 3372; 2N 4347; 2N 4348; BDX70, 71, 72, 73, 74, 75.

În țara noastră, I.P.R.S.-Băneasa, fabrică tipul universal 2 N 3055 cu „derivatele" sale 2 N 3055 U; 2 N 3055 M; BD 142 etc. realizate cu structuri în care baza este omogenă ca rezistivitate în direcție axială (emitor spre colector).

Tranzistorul 2 N 3055 poate disipa o putere de 115 W în condiții de răcire ideală (cu radiator infinit, astfel ca temperatura capsulei să nu depășească 25°C).

În condiții reale de răcire, cu un radiator nervurat (extrus) având o rezistență termică de cca. 2°C/W, tranzistorul 2 N 3055 poate disipa o putere de cca. 40 W; în această situație temperatura joncțiunii atinge 180°C, limita superioară admisă.

În tabelul D se prezintă parametrii limită ale celor mai uzuale tranzistoare hometaxiale:

Tranzistor	U_{CBO} V	U_{CEO} V	U_{CER} (100Ω) V	I_C A	I_{CM} A	I_B A	B	$P_{d\infty}$ W	T_j °C	R_{tje} °C/w	F_t MHz
2N3055	100	60	70	15	15	7	20–70	117	200	1,5	1
2N3055U	100	80	90	15	15	7	30–200	150	200	1,17	0,8
2N3055V	80	60	70	15	20	7	20–150	150	200	1,17	0,8
2N3055M	120	90	100	8	10	5	20–50	117	200	1,5	1,5
BD142	50	45	50	15	20	7	20–120	117	200	1,5	1,3
BD141	140	120	130	8	13	5	20–70	117	200	1,5	1
2N3442	160	140	150	10	15	7	20–200	117	200	1,5	0,8
2N4347	140	120	130	5	10	3	20–70	100	200	1,75	1,2
2N3772	100	60	70	20	30	5	20–200	150	200	1,17	1
2N3771	50	40	45	30	30	7	20–200	150	200	1,17	0,8
2N3772	160	140	150	15	30	10	20–50	150	200	1,17	0,7
2N4348	140	120	130	10	30	5	15–60	120	200	1,47	0,8

2. TRANZISTOARE CU BAZĂ EPITAXIALĂ (EPIBAZA)

Caracteristicile principale ale acestor tranzistoare de tip NPN şi PNP:

$$U_{CEO}=20\ldots100\ \text{V}$$
$$I_C = 4\ldots 16\ \text{A}$$
$$P_d =30\ldots150\ \text{W}$$
$$F_T = 3\ldots 10\ \text{MHz}$$

Tranzistoarele epibază îmbină calităţile tranzistoarelor simplu difuzate (robusteţe) şi cele ale tranzistoarelor tripludifuzate (frecvenţe mai mari de lucru), utilizate foarte bine în amplificatoare Hi-Fi de AF, comutaţie de putere, stabilizatoare de tensiune, baleiaj orizontal (ca tranzistor de atac) şi baleiaj vertical (finale în TV alb şi negru şi TV color). Tipuri reprezentative de tranzistoare epibază sînt:

NPN: BD 433; BD 435; BD 437; BD 439; BD 441;

(vezi pag. 54)

PNP: BD 434; BD 436; BD 438; BD 440; BD 442;

Seria: BD 533; BD 535; BD 537 (NPN); BD 534; BD 536; BD 538 (PNP) are: U_{CEO}=45—60—80 V; I_C=4 A; I_{CM}=7 A şi P_d=50 W, capsulă TO-220 AB.

Cu tehnologia epibază se fabrică şi tranzistoare integrate de tip Darlington, de tip NPN, de tip PNP precum şi complementare PNP+NPN.

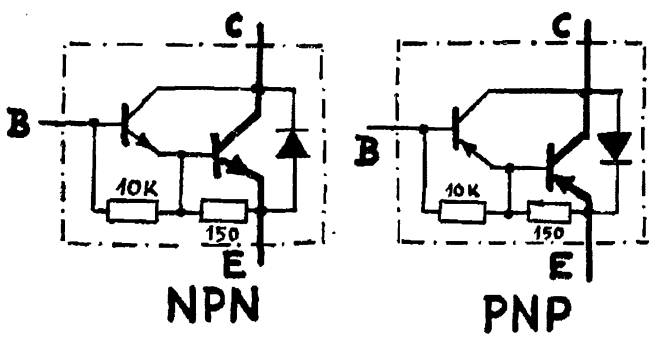


Fig. 28. Tranzistoare darlington

Tranzistoarele Darlington cuprind în capsulă două tranzistoare, 2 rezistenţe şi o diodă antiparalelă de protecţie, aşa cum se arată în figura 28.

Amplificarea de curent continuu B este de ordinul a 1 000—5 000, fiind aproape egală cu produsul amplificărilor de c.c. ale celor două tranzistoare componente:

$$B = B_1 \cdot B_2$$

Astfel dacă $B_1 = 100 \ldots 200$ (T_1 fiind un tranzistor mic asemănător unui BC 107), iar $B_2 = 20 \ldots 50$ (T_2 este un tranzistor de putere), amplificarea grupului Darlington rezultă:

$$B = (100 \ldots 200) \times (20 \ldots 50) = 2\,000 \ldots 10\,000$$

Ca urmare la un curent de bază $I_B = 3$ mA, la un tranzistor cu $B = 3\,000$, se obține un curent de colector $I_C = 9$ A.

Tipuri uzuale de tranzistoare Darlington:

NPN: BD 263; BD 267; BD 645; BD 647; BD 649; BD 675; BD 677; BD 679; BD 681; BDX63; BDX65; BDX67;

PNP: BD 262; BD 266; BD 646; BD 648; BD 650; BD 678; BD 680; BD 682; BDX62; BDX64; BDX66;

Tranzistoarele Darlington de putere se folosesc preponderent în amplificatoare Hi-Fi de AF, dar și în stabilizatoare de tensiune.

Se dau mai jos în tabelul E parametrii unor tranzistoare epibază:

TABEL E.

	U_{CBO} V	U_{CEO} V	I_C A	$P_{d\infty}$ W	B la min I_C(A)		U_{CE} sot la V I_C(A)		F_t MHz	Capsulă
BD262-BD263*	60	60	4	36	750	1,5	2,5	1,5	7	SOT32 TO126
BD266-BD267*	60	60	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD645-BD646	80	60	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD647-BD648	100	80	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD649-BD650	120	100	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD675-BD676	45	45	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD677-BD678	60	60	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD679-BD680	80	80	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD681-BD682	100	100	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BDX62-BDX63*	60	60	8	90	1 000	3	2	3	12	TO3
BDX64-BDX65*	80	60	16	150	1 000	10	2	5	10	TO3
BDX66-BDX67*	60	60	16	150	1 000	10	2	10	8	TO3

NOTA: Tranzistoarele BD 262, 263, 266, 267, BDX62, 63, 64, 65, 66 și 67 au 3 clase de tensiune. În tabelul E s-au trecut

tranzistoarele cu tensiunea cea mai mică. Celelalte clase de tensiuni sînt evidențiate cu literele A și B, astfel:

BD 262—BD 263	U_{CEO}= 60 V
BD 262 A—BD 263 A	U_{CEO}= 80 V
BD 262 B—BD 263 B	U_{CEO}=100 V
BDX62—BDX63	U_{CEO}= 60 V
BDX62 A—BDX63 A	U_{CEO}= 80 V
BDX62 B—BDX63 B	U_{CEO}=100 V

BD 266 —BD 267 — 60 V	BDX64 —BDX65 — 60 V
BD 266 A—BD 267 A— 80 V	BDX64 A—BDX65 A — 80 V
BD 266 B—BD 267 B—100 V	BDX64 B—BDX65 B —100 V

BDX66—BDX67	U_{CEO}= 60 V
BDX66 A—BDX67 A	U_{CEO}= 80 V
BDX66 B—BDX67 B	U_{CEO}=100 V

3. TRANZISTOARE TRIPLU DIFUZATE (PENTRU BALEIAJ ORIZONTAL)

Caracteristicile esențiale ale acestei familii de tranzistoare sînt tensiunea mare de lucru, frecvența ridicată și viteză mare de comutație.

Aceste tranzistoare sînt destinate în special etajelor finale de baleiaj orizontal ale televizoarelor portabile, staționare și color:

U_{CEO}=200 . . . 2 000 V
I_C = 3 . . . 10 A
P_d = 5 . . . 15 W
f_T = 5 . . . 30 MHz.

Dintr-un număr enorm de tranzistoare triplu difuzate, interesează tipurile mai uzuale, utilizate în televizoarele moderne (toate NPN):

1. BU 406; *BU 407*; BU 408; BU 104; BU 109; BU 312; 2 SC 558; 2 SC 1617;
2. BU 204; *BU 205*; BU 206; BU 207; BU 208; BU 209; BUY 71; 2 SD 200;

Grupa 1, cuprinde tranzistoarele cu tensiune maximă de ordinul a 250—350 V, care se folosesc în etajele finale de baleiaj orizontal alimentate la tensiunea de 25—32 V, în televizoare portabile, transportabile și staționare. Cum tensiunea maximă din timpul întoarcerii este de cca. 8 ori mai mare, decît tensiunea

de alimentare (accidental chiar de 10 ori), înseamnă că tranzistoarele din grupa 1 trebuie să suporte în condiţii de U_{CEV}*. Tensiuni de 250—320 V.

Grupa 2, cuprinde tranzistoare pentru baleiajul orizontal alimentat la 120—150 V şi chiar 200 V, în televizoarele alb-negru sau color. Luînd în considerare şi aici raportul 10 între tensiunea maximă de impuls în timpul întoarcerii, tensiunea U_{CE} necesară este de 1 200—2 000 V.

Puterea disipată a acestor tranzistoare este relativ mică, mai ales la tranzistoarele din grupa de înaltă tensiune. Este de altfel de importanţă excepţională, o bună răcire a tranzistoarelor de baleiaj, deoarece temperatura joncţiunii nu trebuie să depăşească niciodată 80—85°C, aceasta pentru a se asigura fiabilitatea.

Parametrii tranzistoarelor triplu difuzate pentru baleiaj sînt daţi în tabelul F.

● Unele din tranzistoarele moderne de B.O. conţin în capsulă şi o diodă antiparalelă care joacă rolul diodei paralele de recuperare. Tranzistoarele BU 406 D şi BU 407 D, conţin deci şi dioda de recuperare evidenţiată prin litera D. Dioda este dimensionată pentru V_R=350 V şi I_D=5 A la V_F=1 V. În figura 29, *a* se arată schema electrică a tranzistoarelor BU 406 D şi BU 407 D.

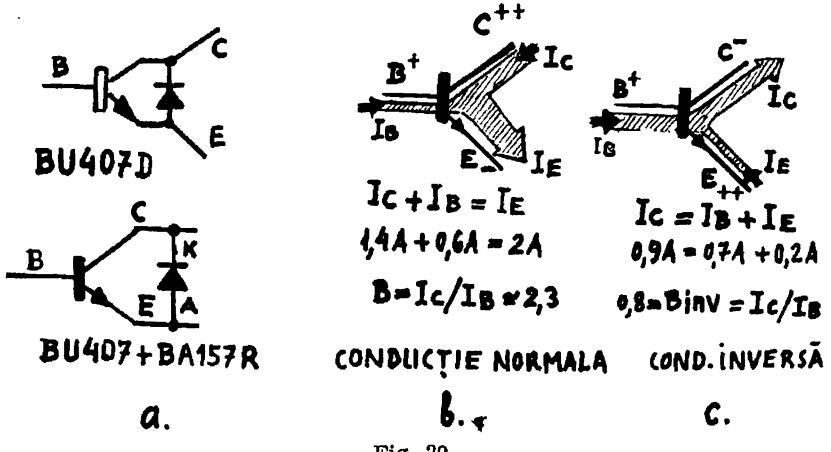


Fig. 29.

* Intrarea tranzistorului este blocată; în cazul tranzistoarelor NPN, între E şi B se aplică o tensiune de polarizare inversă de cca. 2 V cu plus pe E şi minus pe B.

TABELUL F

Tranzistor	U_{CBO} V	U_{CEV} U_{CEX} V	U_{CEO} V	I_C A	I_B A	$U_{CE\,sat}$ V / I_C (A)	B / I_C (A)	T_j °C	R_{thjc} °C/W	P_d W	F_t MHz
BU 406	400	375	200	7	4	1/5	5–15/5	150	2,1	60	10
BU 407	330	300	150	7	4	1/5	5–15/5	150	2,1	60	10
BU 104	400	350	250	7	3	1,75/5	10–50/5	175	2	85	10
BU 109	330	300	200	7	3	1,5/5	15–40/5	175	2	85	10
BU 312	280	280	150	6	2	1,5/5	10–20/5	175	3	25	25
BU 204	1 300	1 300	600		2	5/2	2,5/2	115	2,5	10	8
BU 205	1 500	1 500	700	2,5	2	5/3	2,3/2	115	1,5	10	8
BU 206	1 700	1 700	800		2	5/2	2/2	115	2,5	10	8
BU 207	1 300	1 300	600	5	4	5/4,5	2,5/4,5	115	1,6	12,5	7
BU 208	1 500	1 500	700	5	4	5/4,5	2,3/4,5	115	1,6	12,5	7
BU 209	1 700	1 700	800	5	4	5/4,5	2/4,5	115	1,6	12,5	7
BUY71	2 200	2 200	1 000	2	1,5	5/1‘5	3/1,5	125	1,5	15	10

● Familia de tranzistoare BU 204 . . . 209 precum și tranzistorul BUY 71 sînt de o „construcție" cu totul specială, care asigură și conducția inversă a curentului în colector. În fig. 29, *b*, se evidențiază conducția normală ca la orice tranzistor NPN cînd curentul emitorului este cel mai mare dintre cei trei curenți și iese din tranzistor. În situația de conducție inversă, tranzistorul BU 205 joacă rolul diodei paralele de recuperare; curentul principal străbate tranzistorul prin joncțiunea bază-colector în sens invers celui normal în timp ce și joncțiunea EB conduce invers un curent ceva mai mic. Pentru a conduce invers, trebuie ca emitorul să fie puternic pozitiv față de colector. Se poate spune despre BU 205 că este un tranzistor „simetric" care conduce în ambele sensuri, făcînd să nu mai fie necesară dioda de recuperare conectată antiparalel.

Trebuie menționat că tranzistoarele de înaltă tensiune de felul lui BU 205 sînt extrem de pretențioase în ceea ce privește comanda bazei, atît ca amplitudine cît și ca fază aceasta în scopul de a asigura golirea deplină de curent a tranzistorului pentru perioada de 12 μs cînd are loc întoarcerea timp în care tranzistorul este supus la o tensiune de 1 000—1 200 V.

Prin tehnologie triplu difuzată se obțin și tranzistoare rapide de puteri și tensiuni foarte mari, adică 300—400 V, 20—40 A, 150—250 W și totuși t_f (timp de cădere) de 0,5—1 μs.

Se prezintă mai jos unele serii de tranzistoare deosebite triplu difuzate (TD).

MESATD.	BUX39	BUX40	BUX41	BUX42	BUX43	BUX44	
U_{CEO}	90	125	200	250	325	400	V
I_c	30	20	15	12	10	8	A
P_d	120	120	120	120	120	120	W
t_f	0,3	0,4	0,8	0,8	1	1,2	μs

TD	BUX20	BUX21	BUX22	BUX23	BUX24	
U_{CED}	125	200	250	325	400	V
I_c	50	40	33	25	20	A
P_d	150	250	250	250	250	W
t_f	0,3	0,4	0,6	1,1	1,4	μS

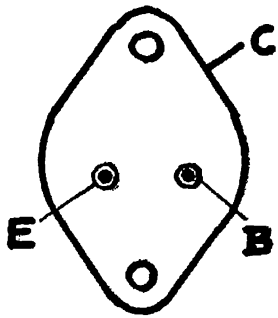
		
CAPSULA SOT82 SAU T0126	CAPSULA TO3	CAPSULA TO220AB
BD135, 137, 139 BD136, 138, 140	2N3050, BD141, BD142 2N3442, 2N4347, 2N4348 2N3771, 2N3722, 2N3773	BU406, BU407 BU407D
BD433, 435, 437 BD434, 436, 438 BD439, BD441 BD440, BD442	BD130, BU120, BU126, BU312	BD645-BD646 BD647-BD648 BD649-BD650
BD533, 535, 537 BD534, 536, 538	BDX10, 11, 12, 13, 23, 24, 25 BDX40, 41, 50, 51, 60, 61, 62 BDX63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 BDX71, 72, 73, 74, 75, 76, 77	BD533-BD534 BD535-BD536 BD537-BD538
BD675-BD676 BD677-BD678 BD679-BD680 BD681-BD682	BUX10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 BUX20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 BUX39, 40, 41, 42, 43, 44, 45	
BD262-BD263 BD233, 235, 237 BD234, 236, 238	BUY12, BUY18, BUY47, 4`, 57 BUY72, 73, 74, 74, 76, 77, 78, BU100, 102, 104, 105, 108, 109 BU204, 205, 206, 207, 208, 209	

Fig. 30.

4. TRANZISTOARE PLANAR EPITAXIALE DE PUTERE

Cronologic, în tehnologia planară s-au realizat primele tranzistoare rapide de putere pentru baleiajul orizontal, tranzistoare cu tensiuni U_{CER} de ordinul a 200—300 V, cum au fost BUY 12, BU 100, BU 102 al căror mare dezavantaj era fragilitatea la tensiuni mari, în sarcină. Ulterior s-au dezvoltat tranzistoarele mult mai robuste la străpungere BU 100 A, BU 125 S, BD 375, BD 377, BD 379, BUY 18 S, BUY 47, BUY 48 etc.

Cum din tehnologie tranzistoarele PL-E au baza foarte subțire, proprietățile de frecvență sînt superioare oricăror tranzistoare de putere, făcîndu-le apte pentru comutație rapidă, dar nu pentru baleiaj orizontal. De altfel frecvența de tăiere a tranzistoarelor PL-E de putere este cuprinsă între 50 și 100 MHz (simultan cu 5—10 A și 200—300 V) iar timpii de comutație de 0,1—0,3 μs.

Tranzistoarele de putere pentru etajele finale ale stațiilor mobile de radiocomunicații sînt toate de tip planar-epitaxial.

La acestea în scopul de a asigura frecvențe foarte mari de lucru baza are grosimi de ordinul a 1—2 μ și ca urmare tensiunile de lucru sînt mici. O serie mare de tranzistoare pentru emițătoare cu SSB (bandă laterală unică). FIF și UIF, au U_{CEO} de ordinul a 20—40 V curenți maximi de 2—15 A și frecvențe limită de 150—900 MHz.

•

În încheiere se prezintă în fig. 30, conexiunile terminale ale tranzistoarelor de putere enumerate în acest capitol.

* *
*